



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID  
FACULTAD DE CIENCIAS**

# **IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y TRATAMIENTO DE VOCs EN AIRE INTERIOR**

**TESIS DOCTORAL**

**OLGA MARÍA VILANOVA ANTA**



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS

**IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN  
EVALUACIÓN Y TRATAMIENTO DE VOCs  
EN AIRE INTERIOR**

Memoria presentada para optar al título de Doctor por la  
Universidad Autónoma de Madrid por:

**Olga María Vilanova Anta**

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales  
y Tecnológicas (CIEMAT), Grupo de Análisis y Tratamiento  
Fotocatalítico de Contaminantes en Aire (FOTOAIR).

Dirigida por:

**Dr. Benigno Sánchez Cabrero y Dra. M<sup>a</sup> Cristina Canela Gazotti**

El **Dr. Benigno Sánchez Cabrero**, doctor e investigador del Grupo de Análisis y Tratamiento Fotocatalítico de Contaminantes en Aire perteneciente a la División de Energía Renovables del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y la **Dra. M<sup>a</sup> Cristina Canela Gazotti**, doctora e investigadora de la Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, Brazil,

#### **CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado **“IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y TRATAMIENTO DE VOCs EN AIRE INTERIOR”**, ha sido realizado bajo su dirección en el Grupo de Análisis y Tratamiento Fotocatalítico de Contaminantes en Aire del CIEMAT y constituye la memoria que presenta **Dña. Olga M<sup>a</sup> Vilanova Anta** para optar al Grado de Doctor.

Y para que conste a los efectos oportunos, firman el presente certificado, en Madrid a 03 de septiembre de 2018.

Fdo. Dr. Benigno Sánchez Cabrero

Fdo. Dra. M<sup>a</sup> Cristina Canela Gazotti

*A toda mi familia*  
*(la impuesta y la escogida)*



*“Debe quedar claro que con todo lo que he dicho hasta en mi investigación tengo una deuda enorme con el trabajo de otros, mis colegas que han aportado muchas de las ideas que he usado y muchos ejemplos interesantes de análisis y mis colaboradores, sin cuyo cerebro, ojos y manos muy poco se habría hecho.”*

**Dorothy Crowfoot Hodgkin**

*“Las grandes cosas no se hacen sobre la base de impulsos, sino como la suma de pequeños pasos que se unen entre sí.”*

**Vicent Van Gogh**

# AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se ha realizado en el Grupo de Análisis y Tratamiento Fotocatalítico de Contaminantes en Aire del CIEMAT (FOTOAIR-CIEMAT), bajo la dirección del Dr. Benigno Sánchez Cabrero y la Dra. María Cristina Canela Gazotti. A ellos quiero expresar mi más sincero agradecimiento por brindarme esta oportunidad, por la confianza mostrada, por su dedicación y apoyo. Por sus enseñanzas y su apoyo incondicional.

A Beni, por haberme dado la oportunidad de entrar en su grupo de investigación, por transmitirme sus conocimientos y su visión más aplicable de la investigación, por sus consejos y por darme la oportunidad de crecer como profesional y lo más importante como persona. A Cris, por su tiempo y dedicación pese a la distancia y la diferencia horaria, por su inestimable ayuda y sus conocimientos, por los momentos juntas durante sus estancias en el grupo, que me dieron la oportunidad de aprender mano a mano y que pese a ser limitados fueron inmensamente productivos y enriquecedores.

Al CIEMAT por la concesión de un contrato predoctoral que me ha permitido desarrollar mis estudios de doctorado y la realización de una estancia en un centro de investigación extranjero.

Al Ministerio de Economía y Competitividad, por la concesión y financiación del RETO: Protección y Conservación del Patrimonio Cultural en Museos Mediante Tecnologías Innovadoras Relacionadas con la Calidad de Aire (Air-Arte), de cuyo trabajo ha nacido esta propuesta de tesis doctoral.

Al Prof. Raimundo Jiménez Ballesta, Catedrático de la Universidad Autónoma de Madrid, por su ayuda, colaboración, implicación y excelente disposición en cada uno de los pasos de este proceso.

Al personal del CIEMAT por su ayuda cada vez que la he necesitado. En especial al personal de reprografía que siempre me ha solucionado cualquier problema incluso a última hora.

A la Dra. Costanza Miliani, por haberme acogido en su grupo de investigación, por haber compartido conmigo sus conocimientos y enseñanzas sobre espectroscopia, materiales pictóricos y arte, por sus atenciones, por ayudarme en cada paso de este nuevo campo para mí y por su colaboración. También quiero agradecer a todos los miembros de su grupo en especial a Aldo, Franci, Laura, Patrizia, Analisa, Letizia y Chiara, por formarme, ayudarme durante mis experimentos, acompañarme durante las comidas e introducirme en el mundo del auténtico *café expresso*.

A la División de Química del CIEMAT por su colaboración en los análisis de este trabajo. Muy especialmente a la Dra. María Belén Gómez y al Dr. Miguel Sanchez por su valiosa ayuda en los análisis y la interpretación de los resultados de difracción y cromatografía de líquidos respectivamente.

A todo el personal del Museo Arqueológico Nacional empezando por la dirección y terminando por el personal de seguridad por su disponibilidad y su implicación en la realización de los trabajos. De forma muy concreta y especial al Departamento de Conservación y Restauración

con el que tuvimos la oportunidad de trabajar muy de cerca. Todo mi agradecimiento para su personal Barbara, Dhurga, Raquel, Mila, María Antonia y especialmente para Teresa Gómez Espinosa, quien lo encabeza, y quien siempre se ha mostrado dispuesta para la realización de todas las labores y nos ha facilitado siempre el camino, con una implicación que ha sido admirable tanto en lo personal como sin duda alguna en lo profesional.

De igual modo también quiero agradecer al personal Museo Nacional Reina Sofía, en concreto al Departamento de Restauración donde se encuentran la Dra. Carmen Muro y Paloma por su colaboración en los trabajos del proyecto AirArte, a pesar de que dichos resultados no se hayan empleado en este trabajo.

Al servicio técnico de nuestros equipos de instrumentación donde quiero destacar a Jose Luis, Victor, Pepe y Pablo, por todas las horas en busca de micro fugas en el equipo de ATD-GC-MS, gracias por todo lo que me habéis enseñado. A Rafael Sánchez por su ayuda con el FTIR tanto en la adaptación para la medida de sólidos como en sus clases para la interpretación de espectros.

Al Grupo de Análisis y Tratamiento Fotocatalítico de Contaminantes en Aire del CIEMAT (FOTOAIR), que ha ido evolucionando a lo largo de estos cuatro años. De todos y cada uno de los que han formado parte, ya fuese por un breve periodo o por uno mayor me llevo los mejores recuerdos, ha sido un verdadero placer haber trabajado y compartido cada día con vosotros. Quiero agradecer de forma muy especial a Gloria, quien fue mi primera toma de contacto con el equipo de ATD-GC-MS, por estar siempre dispuesta a ayudar, por su cariño, por su trabajo, por ser mi otro par de manos y mi contacto con la naturaleza para poder relajarme, siempre que nos ha sido posible. A Raúl, por su ayuda en cada uno de los montajes experimentales, muestreos realizados y por enseñarme a relativizar. A Juan, por su absoluta disponibilidad y dedicación en todos los trabajos realizados en el museo y durante los muestreos, por su amabilidad, colaboración y por acompañarme durante todo este camino. A la Dra. Silvia Suarez, muchísimas gracias por tu cariño, por tus consejos, por estar a mi lado facilitándome cada paso, ayudándome cada día y levantándome cuando ya no tenía fuerzas, gracias por ser una gran compañera. A Ingrid y Carlos, compañeros de laboratorio, equipos, desayunos, comidas, ... Gracias por las risas, la ayuda, los consejos, los ánimos y todos los momentos que hemos compartido juntos. También quiero agradecer a los estudiantes que han estado de estancia con nosotros Celia, Vanesa, Sandra, Cristian, Nico, Vero y de forma muy especial Silvia Rodicio, gracias por tu iniciativa y disposición a la hora de trabajar, por toda la ayuda prestada durante tu estancia con el grupo y especialmente por tu implicación conmigo y mi trabajo.

Y aunque no forman parte del grupo quiero incluir a Celia, Felix y Alfonso. Celia, gracias por tu cariño, tu compañía y los ratos juntas y sobre todo por arrastrarme a mi primera clase de yoga. Felix, muchas gracias por ser siempre tan positivo y optimista, por tu comprensión, tus buenos consejos, los ánimos y las charlas durante los desayunos, y por tus retratos, que, aunque los critique sabes que es desde el cariño. Alfonso, mi querido Alfonso, muchas gracias por la ayuda con el HPLC, gracias por los desayunos y las charlas, pero sobre todo gracias por estar siempre para mí, en los buenos y malos momentos, eso es algo que nunca olvidaré.

A los becarios del CIEMAT, especialmente a Victor, Natalia, Vanesa, Fran y Ghaith, gracias por el apoyo y la amistad brindadas, y por las charlas, los cafés y las comidas que te permiten desconectar por un rato.

## Agradecimientos

A todos los amigos y compañeros que he tenido la oportunidad de conocer durante estos años en todos los congresos, estancias y centros de investigación: a todos los chicos del Departamento de Estructuras y Materiales de INTA, a mis compañeros del laboratorio de caracterización (Ana, Pedrito, Manolo y Almu), a los “titos” (Paco y Antonio) por estar siempre pendientes de todo lo que necesitaba y ayudarme con todos mis trabajos desde la carrera, a Mayri y Horacio de la UCM y especialmente a Ángel Salamanca, no solo por su amistad y el apoyo prestado, sino por sus consejos y correcciones.

A mis compañeros de yoga, por estar a mi lado y acompañarme cada semana, por vuestros ánimos y vuestro interés, mil gracias. Y especialmente a Laura por su sonrisa y su buen humor, mis chicas (Melissa, Paty, Haizea, Raquel, etc.) por las charlas después de clase y a Carlos por todas sus enseñanzas, por sus regañinas, por sus clases de mimos y lo más importante por despertar mi conciencia, *namasté*.

A mis amigos de siempre: Marina, Ana, Marga, Paloma, Fer, Auris, Cris, Tamara, Benito y el resto de los de Rioko, que han tenido que sufrir todo este proceso, que puede llegar a ser frustrante, gracias por apoyarme, escucharme, aconsejarme y darme fuerzas para continuar. Crecer a vuestro lado ha sido y sigue siendo lo mejor de la vida.

A la familia, la que uno escoge: mi querida Silvana y toda su familia. Amiga, gracias por sacarme de la oscuridad y devolver la luz a mi vida, nunca olvidaré el tiempo que hemos compartido en Perugia, Colombia y España. Solo deseo que podamos seguir haciéndolo por muchos años.

A mi familia, la que te toca, a los que estuvieron y a los que están, porque nunca me falláis y siempre puedo contar con todos vosotros y porque sin vosotros nada tendría sentido. A las madrinas (Nieves y Puri) porque son mis mamás de repuesto, por estar siempre pendientes y darte todo su cariño. A Kike y sus peques y especialmente a David, por sacarme siempre una sonrisa y acompañarme con su cariño y sus mejores consejos.

A mis hermanos (Manu y Marina), os quiero y os detesto a partes iguales, esto solo alguien que tenga la suerte de crecer con hermanos lo podrá comprender. Gracias por el amor incondicional y el apoyo, pero gracias sobre todo por las peleas, los momentos en los que nos chincharnos los unos a los otros y los momentos en que hacemos trastadas juntos. Gracias por ser los mejores compañeros de vida y juegos que alguien puede tener. Y a mi cuñada Paty, por su cariño, su comprensión, sus consejos y su ayuda, Solo puedo deciros a los tres gracias de todo corazón.

A mis padres, Lola y Rafa, por ser los mejores padres del mundo, esto igual lo piensan todos los hijos de sus padres, pero en mi caso es una afirmación totalmente objetiva. Gracias por todo vuestro apoyo, por vuestra implicación diaria conmigo, por haberme convertido en la persona que soy (con lo bueno y lo malo), por ayudarme cuando caigo, por celebrar mis éxitos, por permitirme evolucionar día a día, por toda vuestra comprensión y amor. Gracias por ser vosotros, os quiero con toda mi alma.

Y finalmente GRACIAS a todos (amigos y enemigos) porque de una u otra forma habéis formado parte de mi vida y este trabajo y sin vosotros no hubiese sido posible.

# ÍNDICE

<b>Objetivos y resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Capítulo 1: Introducción: Estado del arte.....</b>	<b>3</b>
1.1. ¿Qué es un Compuesto Orgánico Volátil? Definición y propiedades.....	3
1.2. ¿Cuál es la relación entre los VOCs y la calidad del aire?.....	4
1.2.1.VOCs y sus efectos sobre la salud.....	5
1.2.2.VOCs y sus efectos sobre los materiales históricos.....	7
1.3. ¿Cuáles son las técnicas para su determinación?.....	10
1.4. ¿Qué tecnologías hay para su control y/o eliminación?.....	25
1.4.1.Filtración mecánica.....	25
1.4.2.Polarización activa.....	25
1.4.3.Adsorción.....	25
1.4.4.Ozonación.....	26
1.4.5.Fotólisis UV.....	26
1.4.6.Fotocatálisis heterogénea.....	27
1.4.7.Plasma frío.....	28
1.4.8.Biofiltración y purificación botánica.....	28
1.4.9.Separación de membrana.....	28
1.5. ¿Con que herramientas contamos para su control a gran escala?.....	29
<b>2. Capítulo 2: Técnicas Experimentales para cuantificación de VOCs en aire.....</b>	<b>33</b>
2.1. Método de análisis por ATD-GC-MS.....	33
2.1.1.Metodología de muestreo.....	38
2.1.1.1. Tubos adsorbentes.....	38
2.1.1.2. Localización del muestreo.....	41
2.1.1.3. Muestreo activo.....	42
2.1.1.4. Muestreo pasivo.....	43
2.1.1.5. Medidas en paralelo.....	45
2.1.1.6. Gases y otros equipos auxiliares.....	45
2.1.2.Identificación de los VOCs.....	46
2.1.3.Evaluación de los parámetros analíticos.....	47
2.1.3.1. Curvas de calibrado.....	47
2.1.3.2. Parámetros analíticos.....	48
2.2. Método de análisis por HPLC.....	57
2.2.1.Metodología de muestreo.....	59
2.2.1.1. Tubos adsorbentes.....	59
2.2.1.2. Localización del muestreo.....	60
2.2.1.3. Muestreo activo.....	60
2.2.2.Identificación de los VOCs.....	61
2.2.3.Evaluación de los parámetros analíticos.....	62
2.2.3.1. Curvas de calibrado.....	62
2.2.3.2. Parámetros analíticos.....	62



<b>3. Capítulo 3: Resultados de la caracterización del aire de los distintos ambientes del MAN.....</b>	<b>65</b>
3.1. Aire exterior. Resultados del periodo 2014-2017.....	65
3.1.1. Estadística descriptiva.....	66
3.1.2. Promedios mensuales.....	68
3.2. Aire interior del museo. Resultados del periodo 2014-2017.....	79
3.2.1. Estadística descriptiva.....	80
3.2.2. Promedios mensuales.....	81
3.3. Aire interior de las vitrinas. Resultados del periodo 2014-2017.....	86
3.3.1. Estadística descriptiva.....	86
3.3.2. Promedios mensuales.....	89
3.4. Análisis de los coeficientes entre las concentraciones interiores y las concentraciones exteriores.....	91
3.4.1. Relación entre el aire interior del museo vs el exterior del museo.....	91
3.4.2. Relación entre el aire interior de las vitrinas vs el interior del museo.....	95
3.5. Selección de los contaminantes mayoritarios en el interior de las vitrinas.....	97
3.6. Estudio de la temperatura y la humedad relativa.....	101
3.7. Correlación entre los muestreos activos y los pasivos.....	104
<b>4. Capítulo 4: Influencia de la contaminación del aire en materiales pictóricos.....</b>	<b>109</b>
4.1. Caracterización de materiales pictóricos de origen histórico.....	109
4.2. Espectroscopia UV-Vis (UV-Vis).....	111
4.3. Espectroscopia IR por TF (FTIR).....	112
4.4. Difracción de Rayos X (XRD).....	113
4.5. Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	113
4.6. Espectroscopia Raman (Rm).....	114
4.7. Caracterización “ <i>in situ</i> ” – proyecto PEMAN – selección de los pigmentos objeto de estudio.....	115
4.8. Selección de los contaminantes.....	131
4.9. Preparación de los modelos pictóricos.....	132
4.10. Caracterización de los modelos pictóricos.....	134
4.10.1. Caracterización inicial, sin exposición, de los materiales seleccionados.....	134
4.10.2. Resultados de la exposición a un contaminante de forma individual.....	148
4.10.3. Resultados de la exposición a mezcla de contaminantes.....	155
4.10.4. Resultados de la exposición a una silicona neutra.....	159
<b>5. Capítulo 5: Vitrinas y sistemas de control de VOCs.....</b>	<b>165</b>
5.1. Clasificación de las distintas vitrinas del MAN.....	165
5.2. Sistemas de tratamiento de la contaminación interior de las vitrinas en uso en el MAN.....	169
5.2.1. Vitrinas herméticas con sistema de tratamiento para el control de la contaminación por filtración con carbón activado.....	169
5.2.2. Vitrina hermética de nueva generación, diseñada por Aire Limpio, con sistema de tratamiento para el control de la contaminación por filtración con carbón activado.....	172
5.3. Resumen de la concentración de contaminantes en las distintas vitrinas estudiadas según hermeticidad y filtración.....	175

<b>6. Conclusiones y perspectivas futuras.....</b>	<b>177</b>
<b>7. Bibliografía.....</b>	<b>181</b>
<b>8. Anexos.....</b>	<b>197</b>
8.1. Anexo I: Ejemplos de muestras de aire en distintos ambientes.....	197
8.2. Anexo II: Espectros de masas.....	204
8.3. Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo.....	222

## ACRÓNIMOS

ATD-GC-MS	Automated Thermal Desorber - Gas Chromatographer - Mass Spectrometry (Desorción Térmica Automática – Cromatografía de gases – Espectrometría de masas)
BTX	Benzene, Toluene y Xylene (Benceno, Tolueno y Xileno)
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
D3	Hexametildisiloxano
D4	Octametildisiloxano
D5	Decametildisiloxano
D6	Dodecametildisiloxano
DNPH	2,4-dinitrophenylhydrazine (2,4-dinitrofenilhidracina)
ECD	Electron Capture Detector (Detector de captura de electrones)
FID	Flame Ionization Detector (Detector de ionización de llama)
FMD	Formaldehído
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier)
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning (Sistemas de Climatización)
ICDD	International Center for Diffraction Data (Centro Internacional de Datos de Difracción)
INSHT	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
IUPAC	International Union of Pure and Chemistry (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada)
LC	Límite de cuantificación
LD	Límite de detección
MAN	Museo Arqueológico Nacional
MNA	Museo Nacional de Antropología
NIST	National Institute of Standards and Technology (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología)
Rm	Raman
US EPA	United States Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Medioambiental Estadounidense)
UV-Vis	Ultraviolet-Visible (Ultravioleta-Visible)
VOCs	Volatile Organic Compounds
VLA-EC	Valor Límite de Exposición Diaria
XRD	X-Ray Diffraction (Difracción de rayos X)
XRF	X-Ray Fluorescence (Fluorescencia de rayos X)

# OBJETIVOS Y RESUMEN

Actualmente el impacto de la contaminación del aire sobre la salud y el medio ambiente es una preocupación importante. Durante los últimos años se ha prestado mucha atención a los compuestos orgánicos volátiles, denominados comúnmente por su acrónimo en inglés (VOCs). Estos contaminantes de origen químico son precursores del ozono y partículas finas. En muchos casos son tóxicos y pueden contribuir al cambio climático. Por estos motivos surgió la necesidad de vigilar las concentraciones de VOCs dando lugar a diversas normativas tanto europeas como nacionales, que colocan su énfasis en el control sobre las fuentes y el aire exterior. Sin embargo, es necesario resaltar que en la actualidad las personas pasan alrededor del 90 % del tiempo en el interior de edificios (Robinson y Nelson, 1995). Es por ello, que la caracterización de VOCs en aire interior tiene especial importancia.

La calidad del aire interior engloba múltiples escenarios, casas particulares, escuelas, hospitales, museos, medios de transporte, ... Según el RD 238/2013 (Rite) todo aquel edificio que consuma más de 70 KW/h deberá llevar a cabo una evaluación de su calidad de aire interior, ya que por normativa en prevención de riesgos laborales dichos datos se podrán solicitar. El presente trabajo de tesis doctoral se ha centrado en la caracterización de VOCs para los distintos ambientes de un museo nacional que ha pasado por una remodelación completa lo cual ha permitido la oportunidad única de evaluar los ambientes de un edificio de este tipo totalmente renovado.

Las muestras de aire ambiente poseen un gran número de VOCs y en un amplio rango de concentraciones, por lo que la medida de VOCs de forma espaciada no es algo sencillo. Las técnicas de muestreo de tipo activo y pasivo deben emplearse de forma complementaria para extraer la mayor información posible de los VOCs contenidos en el ambiente. Dentro de las técnicas analíticas empleadas para la caracterización de VOCs en aire encontramos que la cromatografía nos otorga una amplia versatilidad a la hora de detectar VOCs de diversas características.

El objetivo de este trabajo de tesis es identificar y cuantificar los VOCs mayoritarios de los distintos ambientes del MAN (Museo Arqueológico Nacional) y realizar una primera aproximación sobre la influencia de estos nuevos contaminantes de origen químico en la degradación del patrimonio artístico y cultural.

Este objetivo general se alcanzará mediante la consecución de los siguientes objetivos parciales:

- Optimizar los métodos analíticos para la identificación y cuantificación de muestras de aire por cromatografía de gases y de líquidos.
- Caracterizar anualmente mediante muestreos sistemáticos al menos con periodicidad mensual los distintos ambientes del museo: Exterior del museo, interior del museo (salas de exposición) e interior de las vitrinas del museo.
- Caracterizar los materiales pictóricos de arte egipcio y sus posibles alteraciones.
- Caracterizar la influencia de los VOCs cuantificados sobre dichos materiales.

- Evaluar los procedimientos de filtración mediante carbón activado para el control de VOCs en el interior de las vitrinas.

A continuación, se muestra un resumen del contenido de los restantes capítulo que componen este trabajo de tesis doctoral.

En el **Capítulo 1** se recoge una introducción general a la problemática que este trabajo de tesis quiere estudiar. Describiéndose que es un VOC y cuales han sido los seleccionados para este trabajo, además del estudio bibliográfico o estado del arte al respecto de sus efectos en la salud y el patrimonio artístico y las normativas actuales en esta materia.

En el **Capítulo 2** se describen las técnicas experimentales para la caracterización de VOCs en muestras de aire por desorción térmica automática acoplada a cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas, (su acrónimo en inglés ATD-GC-MS) y por cromatografía de líquidos con detector de UV-Vis y conductimetría iónica. Junto con los parámetros analíticos y las diversas metodologías de toma de muestra.

En el **Capítulo 3** se evalúan los resultados de caracterización de VOCs en los distintos ambientes del museo. Se determinan sus promedios anuales además de realizarse comparativas entre los distintos ambientes, puntos de muestreo, técnicas de toma de muestra empleadas para evaluar su correlación y se evalúa la influencia de la temperatura y la humedad relativa sobre los VOCs objeto de estudio. De estos resultados se extraen los VOCs mayoritarios para los estudios de exposición sobre materiales pictóricos

En el **Capítulo 4** se describen las técnicas espectroscópicas empleadas para la caracterización de materiales pictóricos. Los métodos de preparación de estas muestras, cuando hablamos de modelos preparados en laboratorio, y los sistemas de montaje para los experimentos de exposición a la contaminación. Asimismo, se lleva a cabo la evaluación de los resultados de caracterización de las policromías de arte egipcio realizadas en el proyecto PEMAN y la evaluación de los resultados de la primera aproximación al estudio de la influencia o posible degradación que los VOCs, identificados en el capítulo anterior, tienen sobre los materiales pictóricos estudiados.

En el **Capítulo 5** se analizan los distintos tipos de vitrinas que contiene el museo y su influencia en los niveles de VOCs. Además, se describen los sistemas de control de la contaminación interior por filtración mediante carbón activado que se hayan en vitrinas seleccionadas del propio museo y se cuantifica su eficiencia junto con un estudio comparativo entre los distintos sistemas implementados en el museo.

Finalmente se recogen las conclusiones más relevantes a las que se ha llegado tras este trabajo de tesis doctoral y las perspectivas futuras.



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN: ESTADO DEL ARTE

Las actuales tendencias en arquitectura con la incorporación de nuevos materiales tanto en el diseño como en la composición. La demanda de confort térmico y necesaria eficiencia energética que tiende a mantener cerrados los edificios. La aparición continuada de nuevos materiales: plásticos, barnices, pinturas, sellantes, tratamientos para madera, tejidos, suelos, productos de limpieza, etc, configuran un conjunto de nuevos ambientes que precisan ser evaluados por dos razones: la salud humana y la conservación de los bienes materiales de que el hombre se dota. Los daños sobre la salud han generado una amplia normativa que se revisa activamente. Sin embargo, poco se sabe de la alteración que los contaminantes ambientales generan en las obras que nos hablan de nosotros mismos, de nuestra historia: Las obras de arte, nuestro patrimonio histórico y cultural. Esta tesis trata sobre ello. Sobre los contaminantes que circundan nuestro pasado y su posible influencia.

Estos ambientes con nuevas fuentes de emisión, dan lugar a la volatilización de nuevos contaminantes. Pero, ¿cuáles son estos contaminantes?, ¿en qué rangos de concentración oscilan?, ¿cómo interactúan con nosotros, con nuestro entorno, con nuestro patrimonio cultural?, ¿es posible minimizarlos o eliminarlos?, estas son solo algunas de las preguntas que surgen y que es necesario resolver.

En este trabajo de tesis se identifican y cuantifican los compuestos orgánicos volátiles mayoritarios encontrados en aire exterior e interior en un entorno concreto de uso público. Para ello se ha contado con una oportunidad única como ha sido la renovación del Museo Arqueológico Nacional (MAN). Esta renovación ha permitido la caracterización de los nuevos ambientes del museo y sentar las bases con los primeros estudios sobre los efectos que estos nuevos contaminantes pueden tener sobre los materiales que componen unas obras de arte singulares: las policromías egipcias.

### 1.1. ¿Qué es un Compuesto Orgánico Volátil? Definición y propiedades

El término Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) o más conocido por las siglas de su término en inglés, Volatile Organic Compounds (VOCs) incluye un conjunto de hidrocarburos que en circunstancias normales se encuentra en estado gaseoso a temperatura ambiente, o bien posee una alta volatilidad en esas condiciones. Han sido definidos de múltiples maneras, ya sea empleando sus criterios de actividad o en base a descripciones estrictamente químicas. Sin embargo, no se llega a una definición aceptada de forma internacional.

La normativa europea los define como compuestos orgánicos con una presión de vapor inferior a 0,01 kPa a 293,15 K, o bien una volatilidad equivalente en las condiciones de uso (Directiva 1999/13/CE).

## 1.2. ¿Cuál es la relación entre los VOCs y la calidad del aire?

La presencia de los VOCs en el planeta se remonta al desarrollo de la vida sobre él. Cuando la aparición de plantas y microorganismos transformó los gases presentes en moléculas orgánicas mediante procesos geoquímicos. Desde entonces los VOCs han formado parte del ciclo del carbono regulando el contenido de compuestos orgánicos en aire, suelos y reservas de agua.

Durante el siglo XIX en Europa y norte América se produjo la revolución industrial y los desechos producidos por esta actividad crecieron hasta tal punto que fue inevitable no percibir sus efectos. A principios del siglo (1915-1918) el tremendo daño que podían representar los VOCs, se hizo público de forma dramática cuando moléculas cloradas de alta toxicidad fueron sintetizadas por Alemania para emplearse como arma química durante la primera guerra mundial. Más adelante en 1956 Haagen-Smit y Fox descubrieron que la producción de ozono era la responsable del denominado “smog” de la ciudad de Los Ángeles. Este smog se producía debido a la oxidación fotoquímica de mezclas que contenían VOCs y óxidos de nitrógeno (NOx), lo cual evidenció por primera vez que los VOCs eran también capaces de actuar como precursores de contaminación secundaria. Se demostraba que el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y la creciente demanda de nuevos productos químicos para generar mayor confort en la vida diaria, estaba ligado de forma inevitable a un drástico cambio en la calidad de la atmosfera (Bloemen y Burn, 1993).

Dentro de la calidad del aire podemos hablar de dos campos principales de estudio: exterior e interior. La calidad del aire exterior ha sido y continúa siendo ampliamente estudiado, resultaba obvia las emisiones de las grandes instalaciones de producción de energía, plantas de combustión, refinerías, etc. Mientras que el segundo, la calidad de aire interior, sólo muy recientemente se ha comenzado su investigación con mucha menor financiación pública (década de los 80).

La calidad de aire exterior viene determinada por la presencia en la atmosfera de sustancias contaminantes, que pueden ser gases, partículas y/o aerosoles. La mayoría de las fuentes de contaminación del aire exterior están más allá del control de los individuos y requieren de medidas a escala local, estatal e internacional. Que regulen emisiones en sectores tales como el industrial, el transporte, la gestión de residuos energéticos, la construcción y la agricultura (Orío, 2014).

El termino aire interior se suele aplicar a aires de interior no industriales: edificios de oficinas, edificios públicos (colegios, museos, hospitales, teatros, restaurantes...) y viviendas particulares. La concentración de contaminantes en el interior de estos edificios suele ser de iguales magnitudes que las del aire exterior o normalmente superiores, pero siempre menores a las encontradas en ambientes industriales donde existen normativas específicas (Directiva 2010/75/EU y U.S. EPA.ISG, 2017).

La calidad del aire interior, incluida la de las viviendas, se ha convertido en un problema para la salud ambiental, como el control de la calidad del aire en el exterior o la exposición en el trabajo. Ya que una persona residente en un área urbana pasa entre el 80 y 90 % de su tiempo en ambiente de interior.

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) la calidad de aire interior, (CAI) o más conocida por sus siglas en inglés, Indoor Air Quality – (IAQ) viene definida por los niveles concretos de contaminación encontrados en un ambiente interior concreto, principalmente debido a la presencia de gases y de vapores orgánicos e inorgánicos (VOCs, ozono, CO, radón, etc.), aerosoles respirables (polvo, fibras, humos, etc.) y bioaerosoles (microorganismos). Aparte de estos aspectos, la determinación de la calidad de un aire interior también debe tener en cuenta las condiciones termohigrométricas, las corrientes de aire y el ruido molesto en ese espacio (INSHT, 2013).

### 1.2.1. VOCs y sus efectos sobre la salud

Los VOCs de alta presión de vapor están presentes esencialmente en cada material ya sea de origen natural o sintético. Desde combustibles fósiles a flores y desde el agua hasta el vino. Y sus usos son innumerables incluyendo carburantes, disolventes, fragancias, biocidas, componentes del sabor. Los VOCs se dan en su mayoría en estado gaseoso o líquido a temperatura ambiente, sin embargo, también existen en estado sólido como es el caso del naftaleno y el *p*-diclorobenceno empleados como bolas antipolillas.

La principal ruta de exposición para la mayoría de los VOCs es a través del aire. Dado su abundancia y diversidad nos encontramos ante dos efectos importantes sobre la salud: su efecto cancerígeno y el denominado síndrome del edificio enfermo (*sick building syndrome - SBS*).

#### Efecto cancerígeno

Algunos VOCs han mostrado efecto cancerígeno, en el caso de los seres humanos encontramos a el benceno y el cloruro de vinilo. Para animales y posiblemente para humanos están el cloruro de metileno, tricloroetileno, tetracloroetileno, cloroformo, *p*-diclorobenceno. También se han observado efectos mutagénicos producidos por  $\alpha$ -pineno o levemente cancerígenos en animales como es el caso del limoneno (Bloemen y Burn, 1993).

Dentro de estos ejemplos, tan solo en el caso del benceno se ha hallado constancia de estudios epidemiológicos que han mostrado la posible influencia entre los niveles de exposición en el medioambiente con el riesgo de cáncer. Algunos ejemplos de este hecho han sido los estudios de Sandler *et al.*, 1985; Stjernfeldt *et al.*, 1986, en ambos estudios se observa como los hijos de personas fumadoras mueren de leucemia con una razón dos veces superior a los hijos de personas no fumadoras.

Estudios más actuales como los de Martinotti *et al.*, 2011 y Cicalese *et al.*, 2017 han hablado de la correlación existente en los aumentos de cáncer no solo por medio de la influencia del benceno sino de otros compuestos considerados como contaminantes peligrosos como el 2,2,4-trimetilpentano, etilbenceno, formaldehído, hexano, metanol, tolueno y xilenos entre otros.

#### Síndrome del edificio enfermo o SBS

El síndrome del edificio enfermo o SBS, empleando sus siglas en inglés, se ha empleado para describir una situación de disconfort y efecto agudo sobre la salud que se ha encontrado relacionado con el hecho de permanecer largos periodos de tiempo en un edificio. No se ha podido describir mediante una sintomatología única y definida (figura 1.1), sino que se trata de diversos síntomas entre los que se han podido encontrar mareos, náuseas, dolor de cabeza, irritación de ojos, mucosas y garganta, sequedad y picor en la piel, fatiga, dificultad de

concentración y sensibilidad a los olores entre otros (U.S. EPA IAQ, 1991). La causa de los síntomas no es clara y muchos de ellos desaparecen al abandonar el edificio.

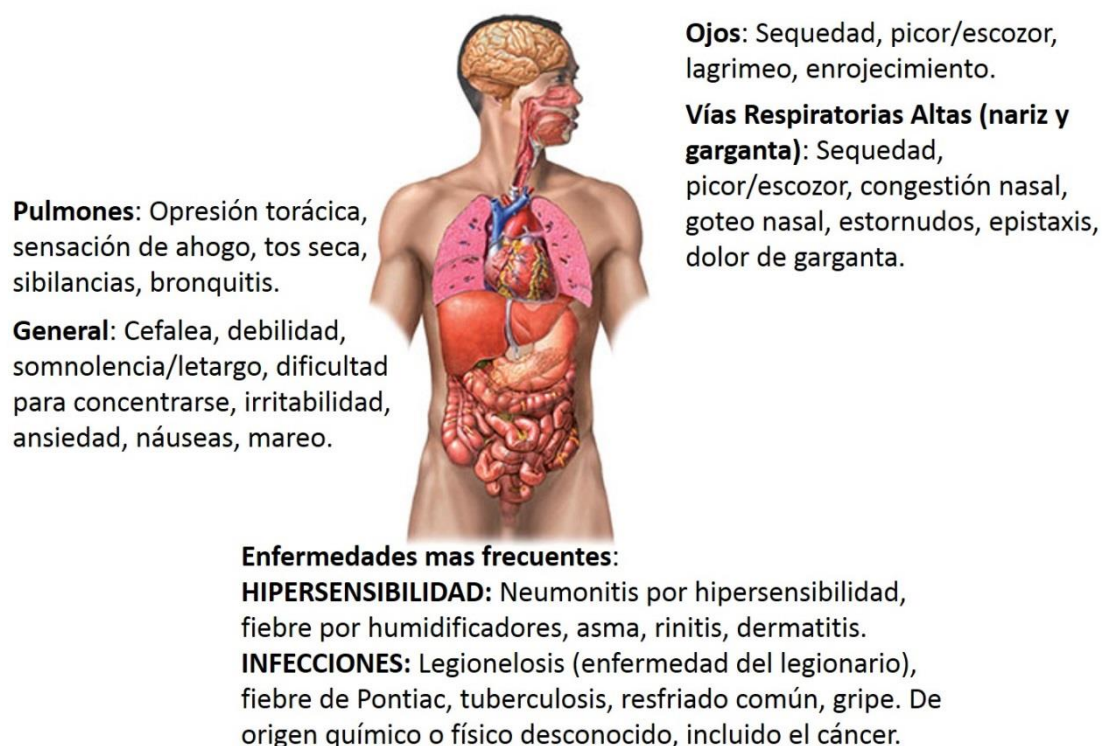


Figura 1.1: Sintomatología del SBS sobre las distintas partes del cuerpo humano. Extraída del capítulo 44 de la enciclopedia de seguridad y salud en el trabajo de la OIT editada por el INSHT

Dentro de los factores que pueden dar lugar al SBS se encuentran los siguientes: ventilación inadecuada, contaminación química de fuentes exteriores e interiores y contaminación biológica.

Los niveles de VOCs en aire interior son superiores a los encontrados en aire exterior, más aún si se habla de edificios de nueva construcción o recientemente remodelados. En 1986 Mølhave y su equipo demostraron que tanto sujetos sensibles como sanos mostraron síntomas como cefaleas e irritación ocular cuando los valores de VOCs totales se encontraron entre 5 y 25  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Un año más tarde (Mølhave *et al.*, 1987) los mismos investigadores hallaron valores de VOCs totales superiores a 1 – 2  $\text{mg}/\text{m}^3$  en edificios enfermos. Resultados similares se obtuvieron posteriormente (Otto *et al.*, 1990).

Por tanto, la mayor fuente de contaminación de los edificios proviene de fuentes del propio interior. Entre las fuentes de contaminación interior que pueden emitir VOCs se hallan las siguientes: los adhesivos, las alfombras, las tapicerías, los productos de madera manufacturados, las fotocopiadoras e impresoras, los pesticidas y los productos de limpieza entre otras. Mientras que menos del 25 % de la exposición personal procede de las fuentes de contaminación exterior entre las que se encuentran: tráfico rodado, escapes de los sistemas de ventilación y plomería entre otras (ver figura 1.2).

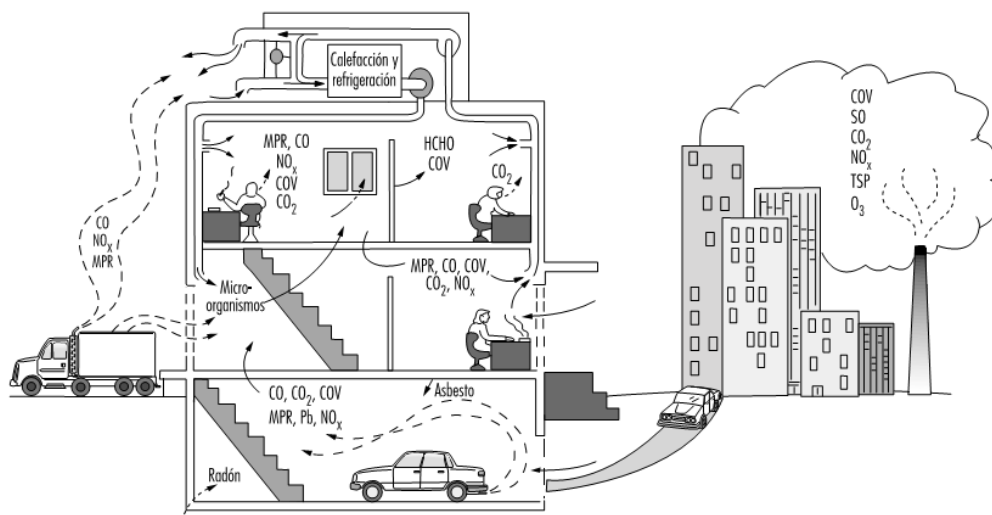


Figura 1.2: Extraída del capítulo 44 de la enciclopedia de seguridad y salud en el trabajo de la OIT editada por el INSHT.

Otro punto de vista considera a las personas la fuente principal de contaminación del aire interior. Si bien los seres humanos son una de las principales fuentes de contaminación al emitir bioefluentes ya no son la única. Antiguamente podía afirmarse este hecho al construir nuestros edificios con ladrillos, maderas y acero, sin embargo, los materiales de construcción modernos contribuyen en mayor o menor medida al deterioro de la calidad de aire. Los estudios realizados en los últimos años (Villanueva *et al.*, 2015; Parra *et al.*, 2008) han demostrado que en muchos ambientes interiores la presencia de contaminantes es muy superior a la prevista y además se han identificado contaminantes diferentes a los encontrados en el exterior. Esto contradice la suposición de que ambientes interiores sin actividad industrial carecen de contaminantes.

### 1.2.2. VOCs y sus efectos sobre los materiales históricos

Los efectos de la contaminación del aire sobre los materiales artísticos no es un fenómeno de nuestro tiempo. Es posible imaginar las distintas fuentes de emisión de contaminación atmosférica a lo largo de diversas épocas como podrían ser los productos de combustión y el humo de las hogueras generadas en el interior de las cuevas durante la prehistoria y sus efectos sobre las pinturas rupestres, o bien, los tratamientos de cobre y los productos de emisión derivados de ellos durante el periodo medieval en Europa y China y su posterior deposición documentada por Hong *et al.*, 1996. Sin embargo, fue la revolución industrial quien condicionó el incremento de las emisiones en aire.

En Pensilvania durante 1948 las emisiones de SO<sub>2</sub> procedentes de la industria enfermaron al 40 % de la población y mataron a 20 personas y un elevado número de animales. Como consecuencia de este desastre se creó el acta de legislación de aire limpio de 1990 (US EPA OAR, 1990). Por otro lado, en 1952 cientos de personas murieron en Londres durante cinco días de elevados niveles de smog químico. Estos son solo algunos ejemplos, hoy en día, el smog fotoquímico es algo muy común en todos los núcleos urbanos de las grandes ciudades. Tristemente, en la actualidad la contaminación del aire ya no se limita a áreas urbanas e industriales, tanto Granby y Christensen en 1997 como Jaffe *et al.*, en 2003 publicaron resultados que muestran la detección de gases procedentes de vehículos e industrias en áreas remotas a Km de distancia.



Sin embargo, las directivas de control, el desarrollo de vehículos híbridos y/o eléctricos y las nuevas tecnologías de control y eliminación de la contaminación pueden contribuir a una mejora en la calidad del aire.

Esta contaminación exterior puede entrar en los edificios, principalmente en aquellos edificios antiguos que se ventilan de forma natural y generar un riesgo tanto para la salud de los usuarios del edificio, como se ha descrito en el apartado anterior, como para los bienes materiales que en dichos edificios se alojan (Druzik, 1991).

Asimismo, los edificios más modernos cuentan con sistemas de climatización, cuyas siglas en inglés son HVAC. Estos sistemas minimizan la entrada de los contaminantes propios del exterior, ya que poseen sistemas de filtración como se puede observar en la figura 1.3.



**Figura 1.3: Sistema de filtros del sistema de climatización automático de un edificio diseñado de forma eficientemente energética en Gante-Bélgica.**

Al hablar sobre conservación de patrimonio artístico y cultural los edificios a los cuales nos referimos y nos centraremos son en su mayoría museos y galerías. Los contaminantes de aire exterior que generan mayor daño al patrimonio artístico son el  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{O}_3$  y  $\text{H}_2\text{S}$ . Los contaminantes de aire interior que han sido históricamente más ampliamente estudiados para la conservación del patrimonio artístico son los ácidos orgánicos (fórmico y acético), el formaldehído, el acetaldehído,  $\text{H}_2\text{S}$  y el  $\text{O}_3$ .

Sin embargo, no se debe olvidar que actualmente, los nuevos materiales de construcción, las pinturas, los disolventes y los productos de limpieza son fuentes de emisión de estos y otros contaminantes en aire interior (Clarisse *et al.*, 2003; Zabiegala, 2006; Esteve-turillas *et al.*, 2007). Este tipo de contaminantes (Moree-Testa & Saint-Jalmen, 1981; Bari *et al.*, 2015) pueden generarse por otros procesos como son la calefacción, la cocción, bioemisión por parte de los usuarios y trabajadores del edificio, la combustión de cigarrillos, los vapores emitidos por los nuevos cigarrillos electrónicos, los productos de higiene personal, etc. Y su interacción

con el patrimonio artístico esta escasamente estudiada, por tanto, podrían ser una fuente de protección o daño.

Ya en 1975 Andersen y sus colaboradores mostraron la dependencia que existe entre la cantidad de contaminante generado y la naturaleza de su fuente de emisión. Más tarde en 1992 Chuang y su equipo mostraron resultados sobre la dependencia entre la concentración del contaminante, el tipo de contaminante, las actividades que se realizaban en el interior del edificio, los intercambios de aire y los sistemas de climatización.

Es por ello que la meta de la conservación preventiva en lo que se refiere a calidad de aire interior, reside en minimizar la penetración de los contaminantes del exterior y reducir las fuentes de contaminación interior.

El interés por la calidad de aire interior de los museos se remonta a 1899 cuando Byne publicó lo que se conoce como el primer documento que recoge el daño en una colección por parte del ambiente en las condiciones de almacenaje. En este caso, Byne describe los productos de corrosión observados en unos especímenes de conchas (figura 1.4). De forma errónea atribuye dicho hecho a la descomposición del animal que reside en el interior de las conchas. En realidad, este tipo de corrosión se debe a los vapores ácidos que emiten ciertos tipos de maderas que se empleaban en la construcción de vitrinas.



**Figura 1.4:** Productos de corrosión sobre conchas a la izquierda imágenes del efecto macroscópico a la derecha micrografías del proceso de corrosión. Imágenes de la composición extraídas del capítulo 2 del libro “Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments” Grzywacz, 2006.

El aumento de este tipo de publicaciones se da al principio de la década de los 70. En 1987 Hatchfield y Carpenter publicaron “*Formaldehyde: How Great Is the Danger to Museum Collections?*” lo que atrajo la atención internacional sobre el problema de la contaminación ambiental en los museos.

El Instituto de Conservación Getty (GCI, sus siglas en inglés) inicio en 1985 el primer programa de investigación sobre riesgo al que se exponen las colecciones por parte de la contaminación atmosférica (Preusser y Druzik, 1989). Inicialmente este programa fue enfocado a la contaminación exterior y más tarde se amplió a contaminación interior (Grzywacz, 1989).

Los niveles de contaminación más bajos fueron detectados en áreas con buena ventilación y altos ratios de intercambio de aire, como galerías. Mientras que los niveles más altos se localizaron en vitrinas o cabinas de almacenaje, donde el intercambio de aire es nulo o está muy restringido, lo cual permite que los contaminantes se vayan concentrando a lo largo del tiempo.

Cuando hablamos de niveles de exposición a la contaminación debemos tener en cuenta que los organismos vivos poseen mayor resistencia que el patrimonio cultural, al tener sistemas de defensa y ser capaces de responder y reparar un ataque. En este caso, la reacción química entre un contaminante y un objeto causará daño al objeto, aunque estemos hablando a nivel molecular y el daño no sea visible *a priori*, ya que los cambios químicos pueden ser irreversibles.

Por este motivo los límites empleados para la conservación del patrimonio artístico y cultural son de partes por billón (ppb), dos o tres órdenes de magnitud inferiores que los empleados para la salud laboral. Pudiendo llegar a ser esta diferencia mayor, como ocurre en el caso de la sulfuración de la plata donde se necesitan tan solo límites de partes por trillón (ppt) de  $H_2S$  (Watts, 2000) frente a los niveles de partes por millón (ppm) que establece la (OSHA) para los seres humanos.

Los contaminantes atacan los materiales en diferentes grados en función de la composición del objeto. Dentro de los posibles daños al objeto juegan un rol importante, la integridad de dicho objeto, los procesos previos de restauración a los que ha sido sometido y las condiciones ambientales (luz, temperatura, humedad relativa, ...).

Tampoco debemos ignorar los efectos sinérgicos que se producen en ambientes interiores y/o en microclimas como los que se generan en las vitrinas o módulos de almacenamiento. Este efecto de sinergia se ha estudiado para diferentes combinaciones de contaminantes y materiales (Bradley y Thickett, 1999; Johansson, 1990; Klumpp *et al.*, 1993; Svensson y Johansson, 1996). Sin embargo, muchas veces desconocemos que contaminantes y en que concentración estaban presentes cuando comenzó el daño o cuánto tiempo necesito para hacerse visible.

### 1.3. ¿Cuáles son las técnicas para su determinación?

En primer lugar, se debe hablar de los métodos de muestreo. Los compuestos a determinar se encuentran en fase gaseosa y para su cuantificación es necesario una toma de muestra. Históricamente los muestreos de VOCs se han y se siguen realizando empleando adsorbentes.

En los sistemas adsorbentes el contaminante es adsorbido sobre la superficie de un material adsorbente. La diferencia más importante entre adsorción y absorción es que en esta última se da reacción química si consideramos la disolución como tal, mientras que en los sistemas de adsorción se produce una interacción física con la superficie.

El adsorbente más empleado a lo largo de la historia ha sido el carbón activado, que inicialmente fue conocido con el desafortunado termino de “carbón absorbente” antes de los años 20, cuando los procesos de adsorción todavía no habían llegado a entenderse. Comenzó a

emplearse en muestreos de VOCs para evaluar la exposición ocupacional, tanto en muestreos activos como en muestreos pasivos.

El VOC se concentra en el adsorbente y posteriormente se recupera para su identificación y cuantificación. En los muestreos iniciales con carbón activado, la recuperación de los VOCs se realizaba mediante elución empleando disolventes como el bisulfito de carbono. El mayor inconveniente de este material era el ruido asociado, lo cual provocó la búsqueda de nuevos adsorbentes. Durante los años 70 se extendió el uso de adsorbentes poliméricos, concretamente el del Tenax (basados en la resina polimérica óxido 2,6-difenileno). Este polímero permitía llegar a límites de detección de ppb (Barkley et al, 1980; Krost et al. 1982).

El Tenax posee menor ruido de fondo y al ser estable a temperaturas mayores de 250 °C permitió el uso de la desorción térmica para la extracción de los VOCs del adsorbente en lugar de los disolventes orgánicos convencionales.

Más tarde, durante la década de los 80, la tendencia en los muestreos fueron los sistemas multiadsorbentes. Con estos se obtenía una sinergia entre las propiedades de la pareja de adsorbentes que formaran el sistema de muestreo.

En el caso de un sistema multiadsorbente formado por carbón activado y Tenax se conseguía que el polímero adsorbiese el grueso de los VOCs y el carbón activado los compuestos de muy alta volatilidad. En 1986 Hodgson y sus colaboradores llegaron a emplear hasta 3 adsorbentes para determinar un amplio rango de VOCs.

Otro de los adsorbentes más comúnmente empleados son las zeolitas, también denominadas tamices moleculares. Se tratan de estructuras cristalinas de aluminosilicatos, que una vez deshidratados poseen poros de tamaño uniforme a través de toda su estructura. Las zeolitas naturales son hidrofílicas (poseen afinidad por moléculas polares) y contienen aluminio. La pérdida del aluminio o la reducción de su porcentaje dentro de la estructura las vuelve más hidrofóbicas lo cual aumenta su afinidad por moléculas no polares como los VOCs. El apogeo de las zeolitas se da con el desarrollo de las zeolitas sintéticas que permitió el diseño de estructuras y composiciones raramente encontradas en la naturaleza (McBain, 1932).

Actualmente existen en el mercado una gran variedad de adsorbentes que se encuentran divididos en estas tres categorías: Zeolitas, polímeros y carbones.

Por otro lado, encontramos la toma de muestra directa, en este caso se prescinde de la etapa de adsorción-desorción, lo que en teoría reduciría la contaminación de la muestra, sin embargo, requiere una alta sensibilidad en la detección instrumental. Este tipo de métodos se realizan a tiempo real en laboratorios móviles donde la muestra es directamente inyectada en la trampa fría o bien muestreando con canisters de aluminio para realizar su posterior análisis en el laboratorio como ya hicieron Oliver *et al.*, 1986.

No existe un método único para la toma de muestra de VOCs en ambiente exterior o interior. Existen distintos métodos normalizados para según que contaminantes se quieren determinar. Así el TO-15, TO-16, TO-17 son métodos normalizados por la EPA para la determinación de VOCs en función del método de toma de muestra recomendado o de la analítica posterior.

Generalmente la analítica posterior de las muestras se lleva a cabo por medio de cromatografía de gases. Como métodos de detección podemos encontrar: detección por ionización de llama (FID), detección por captura de electrones (ECD) y la espectrometría de masas (MS). Tan solo la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas permite

realizar de forma más simple y rápida una criba de los VOCs presentes en la muestra para posteriormente separarlos y cuantificarlos.

Dentro de los métodos de muestreo y análisis debemos tener en cuenta que existen métodos específicos para algunos compuestos como es el caso de formaldehído. Este VOC se analiza de forma rápida y fácil por cromatografía de líquidos.

Utilizando estas técnicas tal y como se describen en los siguientes capítulos, a continuación se definen las familias en las cuales se han clasificado los VOCs identificados y cuantificados en esta tesis y se exponen sus principales propiedades fisicoquímicas en las tablas de la 1.1 a la 1.5 (<https://webbook.nist.gov>; <https://www.chemsafetypro.com>).

### **BTX-Hidrocarburos Aromáticos**

Los hidrocarburos aromáticos son derivados del benceno. El benceno se caracteriza por una inusual estabilidad que le viene dada por la particular disposición de los dobles enlaces conjugados. Reciben este nombre debido a los olores intensos, normalmente agradables, que presentan en su mayoría. Este compuesto, cancerígeno para humanos (5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Ras-Mallorquí *et al.*, 2007), a las mismas concentraciones no presenta ningún problema para las obras de arte.

Específicamente los BTX son una mezcla de benceno, tolueno y los tres isómeros de xileno obtenida en los procesos de destilación del alquitrán de hulla a 180 °C. Se trata de una mezcla muy toxica, de la que existen evidencias de su almacenamiento en la médula ósea y su efecto en alteraciones hematológicas por exposición ambiental (Haro-García *et al.*, 2008 y Doherty *et al.*, 2017). Si dice algo sobre ellos decirlo aquí

### **Aldehídos y terpenos**

Los aldehídos son una clase de compuestos orgánicos, en la cual un átomo de carbono comparte un doble enlace con un átomo de oxígeno, un enlace sencillo con un átomo de hidrógeno y un enlace simple con otro átomo o grupo de átomos (R). El doble enlace entre carbono y oxígeno es característico de todos los aldehídos y es conocido como el grupo carbonilo.

Los aldehídos experimentan una amplia variedad de reacciones químicas, incluida la polimerización. Su combinación con otros tipos de moléculas produce los denominados polímeros de condensación de aldehído, que se han utilizado en plásticos como la baquelita y en el material laminado de mesa (Fórmica).

Muchos de ellos tienen olores agradables y son útiles como disolventes e ingredientes de perfume y como intermedios en la producción de tintes y productos farmacéuticos.

Los terpenos e isoprenoides son una vasta y diversa clase de compuestos orgánicos derivados del isopreno (o 2-metilbuta-1,3-dieno), de forma sintética. De forma natural, el verdadero precursor de los terpenos es el ácido mevalónico, el cual proviene del acetil coenzima A. Cuando los terpenos son modificados químicamente, por ejemplo, por oxidación o reorganización del esqueleto hidrocarbonado, suelen denominarse terpenoides (como la vitamina A o retinol, que contiene un átomo de oxígeno).

Los terpenos son el principal constituyente de los aceites esenciales de algunas plantas y flores, como el limonero y el naranjo.



### **Alifáticos y Alcoholes**

Los hidrocarburos alifáticos son compuestos orgánicos constituidos por carbono e hidrógeno, en los cuales los átomos de carbono forman cadenas abiertas. Los hidrocarburos alifáticos de cadena abierta se clasifican en alcanos, alquenos y alquinos. Los primeros son los que presentan sólo enlaces sencillos entre átomos de carbono, mientras que los alquenos y alquinos presentan enlaces doble y triple respectivamente. Cuando la cadena alifática se cierra formando un anillo, se denomina hidrocarburo alicíclico, hidrocarburo alifático cíclico o cicloalcano.

El alcohol es, desde un punto de vista químico, aquel compuesto orgánico que contiene el grupo hidroxilo unido a un radical alifático o a alguno de sus derivados. Son compuestos muy frecuentes en la naturaleza, y útiles en la industria y en el hogar.

La familia de los alcoholes se organiza según el tipo de átomo al cual está enlazado el grupo hidroxilo, siendo de tipo primario, secundario o terciario.

### **Siloxanos**

Los siloxanos son compuestos con átomos de silicio (Si) enlazados por medio de átomos de oxígeno (O) y cada átomo de silicio porta uno o varios grupos orgánicos. Atendiendo a la normativa de la IUPAC este tipo de compuestos se denominan siloxanos, sin embargo, en algunas ocasiones el término siliconas está más extendido y el término siloxano se emplea para los compuestos sencillos sin enlazar. En otras palabras: los siloxanos son los monómeros para la construcción de los productos de silicona.

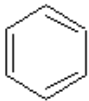
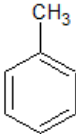
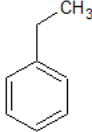
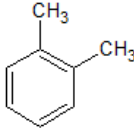
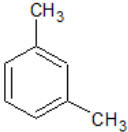
El enlace silicio – oxígeno (Si-O) puede enlazar en forma de estructura lineal o bien formando un ciclo, de esta forma distinguimos entre dos tipos: los siloxanos lineales y los cíclicos.

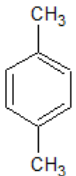
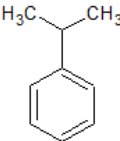
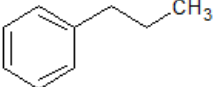
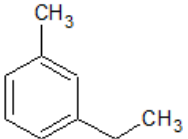
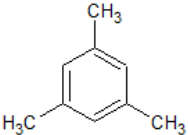
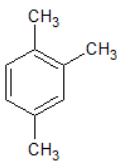
Estos compuestos se encuentran en un gran número de aplicaciones. En este estudio se evaluaron los metilsiloxanos cíclicos cuyo uso está ampliamente extendido en productos cosméticos y por tanto más susceptibles a estar presentes en edificios públicos (Lassen, 2005).

Algunos siloxanos lineales de cadena corta se comportan como los cíclicos, por tanto, son volátiles, como es el caso de hexametildisiloxano que se usa en la industria cosmética y posee un punto de ebullición de 100 °C.

Los siloxanos cíclicos se emplean como intermedios en la producción de siloxanos lineales de alto peso molecular y directamente como fluidos. En los siloxanos cíclicos el grupo Si-O forma la estructura cíclica por sustitución de dos grupos en cada átomo de silicio. Estos compuestos normalmente se designan haciendo referencia al número de átomos de silicio que poseen: D3 (ciclotrisiloxano), D4 (ciclotetrasiloxano), D5 (ciclopentasiloxano) y D6 (ciclohexasiloxano).

Tabla 1.1: Propiedades de los compuestos determinados por ATD-GC-MS pertenecientes a la familia de los BTX-Aromáticos

<b>Benceno</b> $C_6H_6$ <b>CAS:</b> 71-43-2 <b>PM:</b> 78.11g/mol <b>VLA-ED: 1 ppm</b>		Punto de ebullición: 80,1 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,88 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 101 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2,7	Usos: combustibles, detergentes, farmacia, tinturas, disolventes Menos del 0,0005 % en juguetes; prohibido como sustancia; menos del 0,1 % en mezclas. Excluido en uso de carburantes e industrial.
<b>Tolueno</b> $C_7H_8$ <b>CAS:</b> 108-88-3 <b>PM:</b> 92,14 g/mol <b>VLA-ED: 50 ppm</b>		Punto de ebullición: 110,62 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,865 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 29 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,01	Usos: disolvente pinturas, colorantes, perfumes, resinas, celulosas, materia prima poliuretanos Menos del 0,1 % en adhesivos y pinturas para usos de público general
<b>Etilbenceno</b> $C_8H_{10}$ <b>CAS:</b> 100-41-4 <b>PM:</b> 106,17 g/mol <b>VLA-ED: 100 ppm</b>		Punto de ebullición: 136,25 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,868 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 9,30 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,02	Usos: adhesivos, barnices, resinas, cauchos, poliéster, fibra de vidrio, cerámicas
<b><i>o</i>-xileno</b> $C_6H_4(CH_3)_2$ <b>CAS:</b> 95-47-6 <b>PM:</b> 106,17 g/mol <b>VLA-ED: 50 ppm</b>		Punto de ebullición: 144 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,88 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 6,70 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,02	Usos: perfumes, detergentes, repelente insectos, farmacia, industria del cuero
<b><i>m</i>-xileno</b> $C_6H_4(CH_3)_2$ <b>CAS:</b> 108-38-3 <b>PM:</b> 106,17 g/mol <b>VLA-ED: 50 ppm</b>		Punto de ebullición: 139,3 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,868 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 8 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,02	Usos: pinturas, barnices, esmaltes, artículos del hogar

<p><b>p-xileno</b>  <math>C_6H_4(CH_3)_2</math>  CAS: 106-42-3  PM: 106,17 g/mol  <b>VLA-ED: 50 ppm</b></p>		<p>Punto de ebullición: 138 °C  Densidad relativa (agua = 1): 0,861 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 20°C: 6,70  Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,02</p>	<p>Usos: pinturas, barnices, esmaltes, artículos del hogar</p>
<p><b>Cumeno</b>  <math>C_9H_{12}</math>  CAS: 98-82-8  PM: 120,20 g/mol  <b>VLA-ED: 20 ppm</b></p>		<p>Punto de ebullición: 144 °C  Densidad relativa (agua = 1): 1,04 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 20°C: 4,96  Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0,86 a 20 °C</p>	<p>Usos: disolvente pinturas y lascas, celulosa, detergentes, combustibles</p>
<p><b>n-Propilbenceno</b>  <math>C_9H_{12}</math>  CAS: 103-65-1  PM: 120,19 g/mol  <b>VLA-ED: 2 ppm</b></p>		<p>Punto de ebullición: 159 °C  Densidad relativa (agua = 1): 0,86 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 43°C: 13,30  Densidad relativa de vapor (aire = 1): no encontrado.</p>	<p>Usos: pinturas y barnices</p>
<p><b>m-Etiltolueno</b>  <math>C_9H_{12}</math>  CAS: 620-14-4  PM: 120,20 g/mol  <b>VLA-ED: 20 ppm</b></p>		<p>Punto de ebullición: 159 °C  Densidad relativa (agua = 1): 0,865 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 20°C: 2,81  Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,15</p>	<p>Usos: colorantes perfumes, detergentes, disolventes pinturas, farmacia</p>
<p><b>Mesitileno</b>  <math>C_9H_{12}</math>  CAS: 108-67-8  PM: 120,20 g/mol  <b>VLA-ED: 20 ppm</b></p>		<p>Punto de ebullición: 165 °C  Densidad relativa (agua = 1): 0,86 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 20°C: 2,50  Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,1</p>	<p>Usos: disolvente</p>
<p><b>1,2,4-Trimetilbenceno</b>  <math>C_9H_{12}</math>  CAS: 95-63-6  PM: 120,20 g/mol  <b>VLA-ED: 20 ppm</b></p>		<p>Punto de ebullición: 169 °C  Densidad relativa (agua = 1): 0,88 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 20°C: 2,80  Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,01</p>	<p>Usos: disolventes pinturas y lacas, tintas, adhesivos, caucho</p>

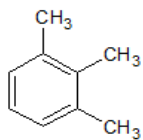
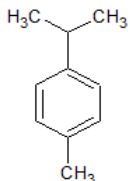
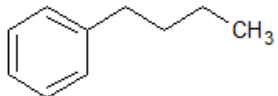
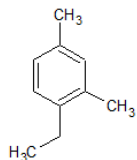
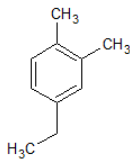
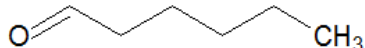
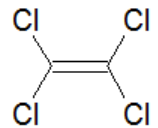
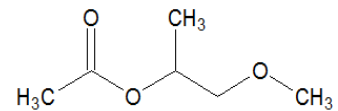
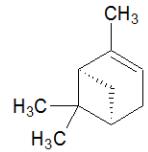
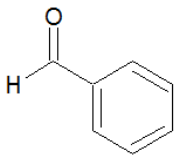
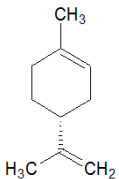
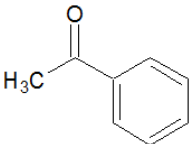
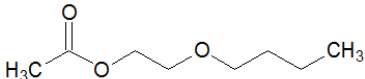
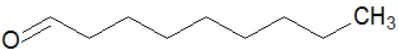
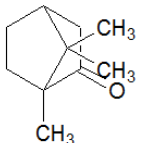
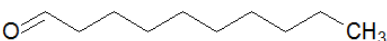
<b>1,2,3-Trimetilbenceno</b> $C_9H_{12}$ <b>CAS:</b> 526-73-8 <b>PM:</b> 120,20 g/mol <b>VLA-ED:</b> 20 ppm		Punto de ebullición: 176 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,89 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 1,80 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,1	Usos: disolventes pinturas y lacas, tintas, adhesivos, caucho
<b>p-Cimeno</b> $C_{10}H_{14}$ <b>CAS:</b> 99-87-6 <b>PM:</b> 134,22 g/mol <b>VLA-ED:</b> 20 ppm		Punto de ebullición: 177 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,85g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 2 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,62	Usos: detergentes, disolventes pinturas, fabricación de fenol y cetonas, combustibles
<b>n-Butilbenceno</b> $C_{10}H_{14}$ <b>CAS:</b> 104-51-8 <b>PM:</b> 132,22 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 183 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,86 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 1,33 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,62	Usos: disolvente para síntesis
<b>4-Etil-m-xileno</b> $C_{10}H_{14}$ <b>CAS:</b> 874-41-9 <b>PM:</b> 134,22 g/mol <b>VLA-ED:</b> 50 ppm		Punto de ebullición: 186 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,88 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: no encontrado. Densidad relativa de vapor (aire = 1): no encontrado.	Usos: pinturas, barnices, esmaltes, artículos del hogar
<b>4-Etil-o-xileno</b> $C_{10}H_{14}$ <b>CAS:</b> 934-80-5 <b>PM:</b> 134,22 g/mol <b>VLA-ED:</b> 50 ppm		Punto de ebullición: 190 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,88 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: no encontrado. Densidad relativa de vapor (aire = 1): no encontrado.	Usos: pinturas, barnices, esmaltes, artículos del hogar

Tabla 1.2: Propiedades de los compuestos determinados por ATD-GC-MS pertenecientes a la familia de los Aldehídos y Terpenos.

<b>Hexanal</b> $C_6H_{12}O$ <b>CAS:</b> 66-25-1 <b>PM:</b> 100,2 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 131 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,815 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 12 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,46	Usos: aromas en la producción de sabores y fragancias
<b>Tetracloroetileno</b> $Cl_2CCl_2C$ <b>CAS:</b> 204-825-9 <b>PM:</b> 165,83 g/mol <b>VLA-ED:</b> 25 ppm		Punto de ebullición: 121 °C Densidad relativa (agua = 1): 1,62 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 19 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,09	Usos: desengrasante, pesticidas, industria caucho, jabones, removedor pinturas
<b>1-Metoxi-2-Propilacetato</b> $C_6H_{12}O_3$ <b>CAS:</b> 108-65-6 <b>PM:</b> 132,16 g/mol <b>VLA-ED:</b> 50 ppm		Punto de ebullición: 147 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,965 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 3,37 Densidad relativa de vapor (aire = 1): no encontrado.	Usos: disolvente industrial
<b><math>\alpha</math>-Pineno</b> $C_{10}H_{16}$ <b>CAS:</b> 80-56-8 <b>PM:</b> 136,24 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: >212 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,94 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 4,24 Densidad relativa de vapor (aire = 1): no encontrado.	Usos: fragancias y sabores, medicina, (aceite de coníferas)
<b>Benzaldehído</b> $C_6H_5CHO$ <b>CAS:</b> 100-52-7 <b>PM:</b> 106,1 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 179 °C Densidad relativa (agua = 1): 1,05 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 26°C: 0,013 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,65	Usos: saborizante, farmacia, producto intermedio, aceite de almendra artificial

<b><math>\alpha</math>-Limoneno</b> $C_{10}H_{16}$ CAS: 5989-27-5 PM: 136,23 g/mol <b>VLA-ED: 30 ppm</b>		Punto de ebullición: 178 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,84 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 0,019 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,7	Usos: alimentación, desengrasante, aromas, cosmética, pigmentos, absorbente de olores, tintas, adhesivos
<b>Acetofenona</b> $C_8H_8O$ CAS: 98-86-2 PM: 120,15 g/mol <b>VLA-ED: 10 ppm</b>		Punto de ebullición: 202 °C Densidad relativa (agua = 1): 1,028 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 25°C: 0,6 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0,86 a 20°C	Usos: fragancias, preparación resinas
<b>2-butoxietylacetato</b> $C_8H_{16}O_3$ CAS: 112-07-2 PM: 160,21 g/mol <b>VLA-ED: 20 ppm</b>		Punto de ebullición: 200 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,94 Presión de vapor, hPa a 20°C: 0,031 Densidad relativa de vapor (aire = 1): >1	Usos: disolvente de lacas de nitrocelulosa, esmaltes acrílicos y epoxi
<b>n-Nonanal</b> $C_9H_{18}O$ CAS: 124-19-6 PM: 142,24 g/mol <b>VLA-ED: No aplica</b>		Punto de ebullición: 183 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,823 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 2 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,9	Usos: perfumes
<b>Alcanfor</b> $C_{10}H_{16}O$ CAS: 76-22-2 PM: 152,24 g/mol <b>VLA-ED: 2 ppm</b>		Punto de ebullición: Indeterminado Densidad relativa (agua = 1): 1 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 0,27 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1	Usos: bálsamo, farmacia, aditivo cremas y geles, insecticidas
<b>Decanal</b> $C_{10}H_{20}O$ CAS: 112-31-2 PM: 156,20 g/mol <b>VLA-ED: No aplica</b>		Punto de ebullición: 209 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,832 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: <0,20 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 5,4	Usos: fragancias y aromatizantes

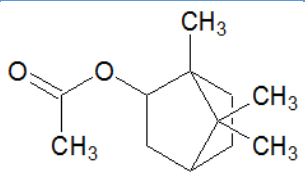
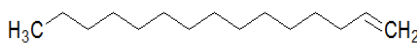
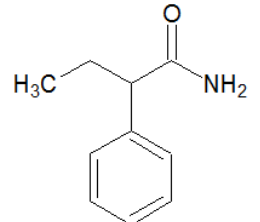
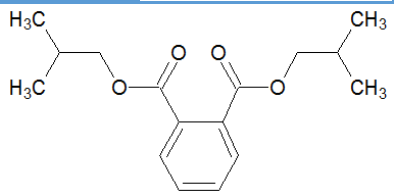
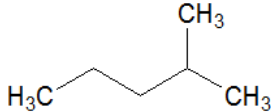
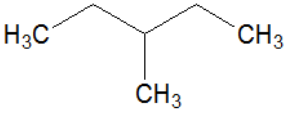
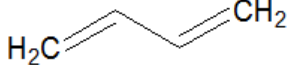

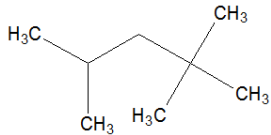

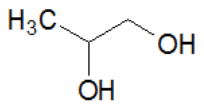




<b>Isobornilacetato</b> $C_{12}H_{20}O_2$ <b>CAS:</b> 125-12-2 <b>PM:</b> 196,29 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 224 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,99 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: no encontrado. Densidad relativa de vapor (aire = 1): no encontrado.	Usos: aromas y fragancias
<b>1-Pentadeceno</b> $C_{15}H_{30}$ <b>CAS:</b> 13360-61-7 <b>PM:</b> 210,40 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 269 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,775 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 0,024 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 7,26	Usos: No se han encontrado usos. Origen microbiológico.
<b>2-Fenilbutiramida</b> $C_{10}H_{13}NO$ <b>CAS:</b> 90-26-6 <b>PM:</b> 163,22 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 316,8 °C Densidad relativa (agua = 1): 1 g/m <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 0 Densidad relativa de vapor (aire = 1): no encontrado.	Usos: No se han encontrado usos.
<b>Diisobutilftalato</b> $C_{16}H_{22}O_4$ <b>CAS:</b> 84-69-5 <b>PM:</b> 278,40 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 320 °C Densidad relativa (agua = 1): 1,04 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 0,0001 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 9,6	Usos: aglutinante pinturas, masillas, rellenos, esmalte de uñas, laca industrial, revestimientos



Tabla 1.3: Propiedades de los compuestos determinados por ATD-GC-MS pertenecientes a la familia de los Alifáticos y Alcoholes.

<b>2-Metilpentano</b> $C_6H_{14}$ <b>CAS:</b> 107-83-5 <b>PM:</b> 86,2 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 60 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,65 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 2,3 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,0	Usos: No se han encontrado usos.
<b>3-Metilpentano</b> $C_6H_{14}$ <b>CAS:</b> 96-14-0 <b>PM:</b> 86,2 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 63 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,66 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 2,05 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2,97	Usos: No se han encontrado usos.
<b>1,3-Butadieno</b> $C_4H_6$ <b>CAS:</b> 107-88-0 <b>PM:</b> 54,10 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 209 °C Densidad relativa (agua = 1): 1,01 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: <1 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,2	Usos: producción de resinas sintéticas
<b>n-Hexano</b> $C_6H_{14}$ <b>CAS:</b> 110-54-3 <b>PM:</b> 86,2 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 69 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,66 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 1,6 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,0	Usos: disolvente de pinturas, industria de marroquinería
<b>2,2,4-Trimetilpentano</b> $C_8H_{18}$ <b>CAS:</b> 540-84-1 <b>PM:</b> 114,3 g/mol <b>VLA-ED:</b> 300 ppm		Punto de ebullición: 99 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,69 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 0,51 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,9	Usos: aditivo en combustibles
<b>n-Heptano</b> $C_7H_{16}$ <b>CAS:</b> 142-82-5 <b>PM:</b> 100,21 g/mol		Punto de ebullición: 98,4 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,684 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 648 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,46	Usos: disolvente lacas, tintes, pinturas, adhesivos

<p><b>VLA-ED: 500 ppm</b></p> <p><b>1,2-Propanodiol</b>  <math>C_3H_8O_2</math>  <b>CAS:</b> 57-55-6  <b>PM:</b> 76,1 g/mol  <b>VLA-ED: 200 ppm</b></p> 	<p>Punto de ebullición: 187 °C  Densidad relativa (agua = 1): 1,04 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 20°C: 10x10<sup>-4</sup>  Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2,6</p>	<p>Usos: detergentes, cosméticos, farmacia, pinturas, tabaco, anticongelante</p>
<p><b>n-Octano</b>  <math>C_8H_{18}</math>  <b>CAS:</b> 111-65-9  <b>PM:</b> 114,23 g/mol  <b>VLA-ED: 300 ppm</b></p> 	<p>Punto de ebullición: 125,7 °C  Densidad relativa (agua = 1): 0,703 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 43°C: 15  Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,94</p>	<p>Usos: combustibles, componentes de naftas</p>
<p><b>n-Nonano</b>  <math>C_9H_{20}</math>  <b>CAS:</b> 111-84-2  <b>PM:</b> 128,20 g/mol  <b>VLA-ED: 200 ppm</b></p> 	<p>Punto de ebullición: 150,8 °C  Densidad relativa (agua = 1): 0,7 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 20°C: 0,059  Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,4</p>	<p>Usos: detergentes, disolventes</p>
<p><b>n-Decano</b>  <math>C_{10}H_{22}</math>  <b>CAS:</b> 124-18-5  <b>PM:</b> 142,28 g/mol  <b>VLA-ED: No aplica</b></p> 	<p>Punto de ebullición: 174,1 °C  Densidad relativa (agua = 1): 0,73 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 20°C: 1,9  Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,02</p>	<p>Usos: disolventes, componente de la gasolina</p>
<p><b>n-Undecano</b>  <math>C_{11}H_{24}</math>  <b>CAS:</b> 1120-21-4  <b>PM:</b> 156,31 g/mol  <b>VLA-ED: No aplica</b></p> 	<p>Punto de ebullición: 196 °C  Densidad relativa (agua = 1): 0,744 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 25°C: 0,0052  Densidad relativa de vapor (aire = 1): 5,4</p>	<p>Usos: lubricante, fluido para corte, insecticida</p>

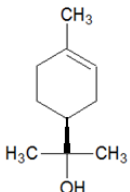
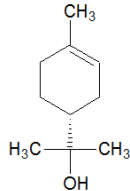
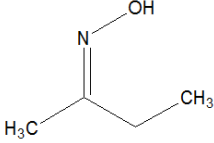
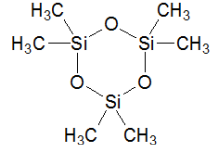
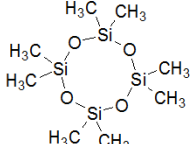
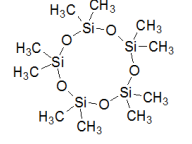
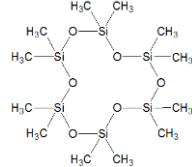
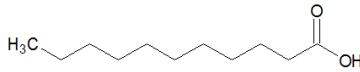
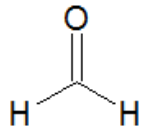
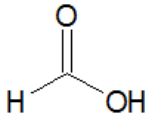
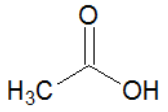
<p><b><math>\beta</math>-Terpineol</b>  <math>C_{10}H_{18}O</math>  <b>CAS:</b> 8000-39-1  <b>PM:</b> 154,3 g/mol  <b>VLA-ED:</b> No aplica</p>		<p>Punto de ebullición: 220 °C  Densidad relativa (agua = 1): 0,93 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 20°C: 0.24  Densidad relativa de vapor (aire = 1): &gt;1</p>	<p>Usos: cosmética, anti-bactericida, anti-fúngico</p>
<p><b><math>\alpha</math>-Terpineol</b>  <math>C_{10}H_{18}O</math>  <b>CAS:</b> 98-55-5  <b>PM:</b> 154,3 g/mol  <b>VLA-ED:</b> No aplica</p>		<p>Punto de ebullición: 224 °C  Densidad relativa (agua = 1): 0,93 g/cm<sup>3</sup>  Presión de vapor, hPa a 20°C: no encontrado.  Densidad relativa de vapor (aire = 1): &gt;1</p>	<p>Usos: cosmética, anti-bactericida, anti-fúngico</p>

Tabla 1.4: Propiedades de los compuestos determinados por ATD-GC-MS pertenecientes a la familia de los Siloxanos y otros.

<b>2-Butanona-oxima</b> $C_4H_9NO$ <b>CAS:</b> 96-29-7 <b>PM:</b> 87,12 g/mol <b>VLA-ED:</b> 3 ppm		Punto de ebullición: 152 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,924 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 2,6 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,0	Usos: inhibidor corrosión aguas calderas, revestimientos, producto intermedio
<b>Hexametildiclotrisiloxano</b> $C_6H_{18}O_3Si_3$ <b>CAS:</b> 541-05-9 <b>PM:</b> 222,47 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 134 °C Densidad relativa (agua = 1): no encontrado. Presión de vapor, hPa a 20°C: 3,59 Densidad relativa de vapor (aire = 1): no encontrado.	Usos: adhesivos y productos de sellado, producto intermedio, aditivo cosmético
<b>Octametildiclotetrasiloxano</b> $C_8H_{24}O_4Si_4$ <b>CAS:</b> 556-67-2 <b>PM:</b> 296,62 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 176 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,95 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 1,3 Densidad relativa de vapor (aire = 1): no encontrado.	Usos: cremas piel, fijador perfumes Menos del 0,1 % en peso en cosméticos de limpieza a partir del 2020
<b>Decametildiclopentasiloxano</b> $C_{10}H_{30}O_5Si_5$ <b>CAS:</b> 541-02-6 <b>PM:</b> 370,78 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: no encontrado. Densidad relativa (agua = 1): 0,96 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 0,16 Densidad relativa de vapor (aire = 1): no encontrado.	Usos: aditivo cosmético Menos del 0,1 % en peso en cosméticos de limpieza a partir del 2020
<b>Dodecametildiclohexasiloxano</b> $C_{12}H_{36}O_6Si_6$ <b>CAS:</b> 540-97-6 <b>PM:</b> 445,93 g/mol <b>VLA-ED:</b> No aplica		Punto de ebullición: 210 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,967 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: >1 Densidad relativa de vapor (aire = 1): no encontrado.	Usos: agente en cosmética
<b>Ácido Undecanoico</b> $C_{11}H_{22}O_2$ <b>CAS:</b> 112-37-8 <b>PM:</b> 186,29 g/mol		Punto de ebullición: 284 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,89 g/cm <sup>3</sup> Presión de vapor, hPa a 20°C: 0,003 Densidad relativa de vapor (aire = 1): no encontrado.	Usos: agente anti-fúngico de olor desagradable

VLA-ED: No aplica

Tabla 1.5: Propiedades de los compuestos determinados por HPLC (ácidos orgánicos y formaldehído).

<b>Formaldehído</b> $\text{CH}_2\text{O}$ CAS: 50-00-0 PM: 30,03 g/mol <b>VLA-ED: 0,3 ppm</b>		Punto de ebullición: $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ Densidad relativa (agua = 1): $0,815\text{ g/cm}^3$ Presión de vapor, hPa a $-33^{\circ}\text{C}$ : 533,2 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,07	Usos: bactericida, conservante, industria textil, de papel y fabricación de tableros
<b>Ácido fórmico</b> $\text{CH}_2\text{O}_2$ CAS: 64-18-6 PM: 46,03 g/mol <b>VLA-ED: No aplica</b>		Punto de ebullición: $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ Densidad relativa (agua = 1): $1,219\text{ g/cm}^3$ Presión de vapor, hPa a $20^{\circ}\text{C}$ : 42,6 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,6	Usos: pesticida, industria veterinaria y del cuero
<b>Ácido acético</b> $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ CAS: 64-19-4 PM: 60,05 g/mol <b>VLA-ED: No aplica</b>		Punto de ebullición: $118,1^{\circ}\text{C}$ Densidad relativa (agua = 1): $1,049\text{ g/cm}^3$ Presión de vapor, hPa a $20^{\circ}\text{C}$ : 15 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2,07	Usos: tinciones médicas, siliconas, industria textil, cosmética, limpieza de superficies

## 1.4. ¿Qué tecnologías hay para su control y/o eliminación?

Existen tres estrategias principales para la reducción de la contaminación interior, estas son las siguientes:

- Controlar las fuentes de emisión: Esto puede venir acompañado de confinamiento, remodelación o remplazo de materiales (Liébana y Calleja, 1998).
- Sistemas de ventilación: En este caso se produce un aumento del porcentaje de aire exterior para diluir la contaminación interior. Sin embargo, esta estrategia no siempre implica que dicha reducción sea inferior a los límites considerados seguros para las personas (Zaatari *et al.*, 2014). Además, puede suponer la entrada de contaminantes potencialmente más tóxicos del exterior.
- Tecnologías de tratamiento: En 2013 Nazaroff propuso las siguientes recomendaciones para mejorar la calidad de aire interior: (1) minimizar las fuentes de emisión del interior, (2) mantener el espacio seco, (3) ventilar correctamente y (4) protección contra la contaminación exterior. Cuando las fuentes de emisión interior no se pueden controlar es cuando se hacen necesarias las tecnologías de tratamiento (Ayoko y Wang, 2014).

Las tecnologías de tratamiento van desde simples sistemas de filtración hasta sistemas más complejos con tecnologías híbridas. Las tecnologías históricamente más empleadas han sido las siguientes: filtración mecánica, filtración electrónica, adsorción, ozonización, fotocátalisis, fotocátalisis oxidativa, plasma frío, biofiltración, purificación botánica y separación por membrana. Todas ellas, excepto la filtración mecánica y electrónica, se pueden emplear para el tratamiento de VOCs. A continuación, se describen brevemente estas tecnologías:

### 1.4.1. Filtración mecánica

Este es uno de los métodos más simples y extendidos para la eliminación de partículas en suspensión. Estos filtros, actúan por impacto o difusión, son uno de los componentes básicos de los sistemas de aire acondicionado. Al irse saturando de partículas su eficiencia decrece y debe procederse a la sustitución de los filtros, quedando estos filtros usados como nuevas fuentes de contaminación (Zhao *et al.*, 2007).

### 1.4.2. Polarización activa

Existen principalmente dos tipos que son la precipitación electrostática y la generación de iones (Bliss, 2005). La primera de ellas, es de menor coste y en ella las partículas son ionizadas y precipitadas por medio de un campo eléctrico confinado entre dos placas con distinta polaridad, su eficiencia para partículas entre 0,3 – 6  $\mu\text{m}$  es del 90 %. Mientras que la segunda de ellas, los generadores de iones, basan su funcionamiento en dispersar iones en el aire que se unen a las partículas cargándolas y atrapándolas en los filtros, su eficiencia es del 95 % para partículas entre 0,3 – 6  $\mu\text{m}$ . Esta tecnología, pese a ser más cara, no necesita ser remplazada a diferencia de la primera.

### 1.4.3. Adsorción

La adsorción se ha aplicado de forma eficiente para retener contaminantes en la superficie de materiales adsorbentes tales como el carbón activado, las zeolitas, el gel de sílice, la alúmina activada y algunos polímeros. El carbón activado y las zeolitas son los que se emplean de forma

más común debido a su alta área superficial y las elevadas capacidades de adsorción (Huang *et al.*, 2003; Kim y Ahn, 2012).

Jo y Yang en 2009 estudiaron la adsorción de benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos en carbón activado para concentraciones de 0.1 – 1 ppmv obteniendo eficiencias cercanas al 90 %. Por otro lado, Sidheswaran *et al.*, en 2012 evaluaron la combinación del carbón activado en sistemas de aire acondicionado frente a una mezcla de VOCs con concentraciones entre 20 – 30 ppbv y observaron una eficiencia del 70 – 80 % de la mayoría de los VOCs estudiados (tolueno, benceno, *o*-xileno, 1-butanol, limoneno, undecano y formaldehído).

Pese a los resultados esta tecnología posee algunos inconvenientes como son entre otros, la condensación de agua en la superficie de los poros debido a ambientes con valores elevados de humedad relativa, la adsorción no es efectiva para todos los compuestos y la regeneración del adsorbente supone un coste adicional. Aun con estas desventajas, Chen *et al.*, en 2005 clasificó la filtración por adsorción como la tecnología comercial presente en el mercado más eficiente para el tratamiento de VOCs, tras evaluar 15 sistemas de tratamiento con cinco tecnologías distintas (adsorción, fotocátalisis oxidativa, ozonización, descomposición por plasma frío y biofiltración botánica) para el tratamiento de una mezcla de 16 VOCs representativos del aire interior.

### 1.4.4. Ozonización

Las moléculas de oxígeno se exponen a radiación UV para producir una cantidad de cientos de miligramos por hora de ozono. El ozono como purificador de aire se comenzó a emplear en los años noventa y a comercializarse debido a su capacidad para eliminar olores y microorganismos (Hubbard *et al.*, 2005).

Sin embargo, múltiples estudios han mostrado que las concentraciones de ozono típicas del aire interior entre 50 – 100 ppbv (límites de exposición) no son eficientes para garantizar la eliminación de los VOCs (Chen *et al.*, 2005; Hubbard *et al.*, 2005; Weschler, 2000). Y varios departamentos de sanidad públicos de distintos países han alertado ante el empleo de esta tecnología que produce ozono de forma intencionada, ya que la exposición a altos niveles de esta molécula es altamente dañina para la salud.

### 1.4.5. Fotólisis UV

La radiación UV es conocida por su efecto biocida. Promueve la descomposición de contaminantes como los virus, las bacterias y químicos entre otros a través de un proceso denominado oxidación por fotólisis o fotólisis UV. El rango de longitud de onda con efecto germicida se encuentra entre 200 y 365 nm para aire y superficies. Sin embargo, se emplean lámparas entre 185 y 254 nm de forma habitual (Wang *et al.*, 2009; Zhao *et al.*, 2013).

Este tratamiento se realiza a temperatura y presión ambiente, lo cual es una ventaja frente a procesos térmicos o tecnologías de oxidación químicas. Se considera un proceso asequible y eficiente (Chen *et al.*, 2010). Su eficiencia depende de la absortividad molar que se produce entre la fase gas del contaminante a la longitud de onda empleada, de la intensidad de la fuente de luz UV, de la concentración inicial de los distintos VOCs presentes, de la humedad relativa y de la concentración de los oxidantes añadidos.

La aplicación de esta tecnología está limitada principalmente por su tendencia a producir ozono y radicales con efectos adversos (Zhang *et al.*, 2011).

### 1.4.6. Fotocatálisis heterogénea

Se trata de un proceso fotoquímico de oxidación avanzada, basado en la absorción directa o indirecta de energía a través de una fuente de radiación visible o UV por medio de un sólido, dicho sólido es normalmente un semiconductor de banda ancha. Durante la absorción directa los fotones son absorbidos por el semiconductor, mientras que cuando se trata de absorción indirecta, la excitación inicial la producen las moléculas adsorbidas en la superficie del fotocatalizador, estas moléculas son capaces de inyectar electrones al semiconductor (Blesa y Sánchez, 2004). La fotocatálisis heterogénea se da cuando el semiconductor absorbe energía en forma de fotones igual o superior a su ancho de banda. En la figura 1.5 se han representado de forma esquemática los procesos que tienen lugar cuando se excita la partícula de un semiconductor con una longitud de onda superior a su ancho de banda (band gap, Eg).

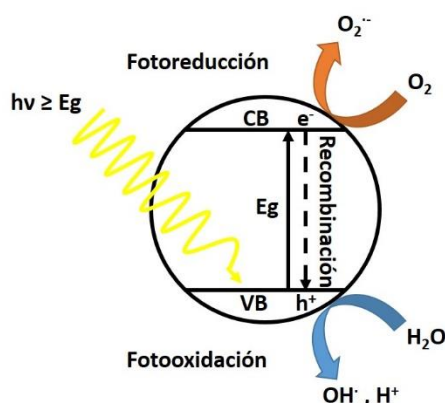


Figura 1.5: Esquema del proceso fotocatalítico que tiene lugar al excitar una partícula del semiconductor (Herrmann, 1999)

El electrón de la banda de valencia (VB) del semiconductor se excita hasta la banda de conducción (CB) dejando un hueco en la banda de valencia. Así se forman pares electrón hueco ( $e^- - h^+$ ) que pueden migrar a la superficie del fotocatalizador y reaccionar con los compuestos adsorbidos. Las especies dadoras de electrones, como moléculas de agua o iones hidroxilo, reaccionan con los huecos generados en la banda de valencia del sólido generando los radicales hidroxilos ( $OH^\bullet$ ), que son los principales responsables de la degradación de la materia orgánica. Por otro lado, los electrones que se han generado en la banda de conducción pueden reaccionar con especies aceptoras de electrones como puede ser el  $O_2$ , produciendo radicales  $O_2^{\bullet-}$ , que participan a su vez en la degradación de la materia orgánica. En el caso de que estos pares electrón-hueco no sean capaces de separarse o reaccionar con especies de la superficie se producirá la recombinación, lo cual producirá la disipación de energía (Carp *et al.*, 2004).

Para la reacción fotocatalítica el semiconductor más empleado es el óxido de titanio ( $TiO_2$ ), aunque también podemos encontrar otros como el  $ZnO$ ,  $ZnS$ ,  $CdS$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SnO_2$  todos ellos con distintos anchos de banda por lo que se ha de considerar el uso de las energías de excitación convenientes para cada caso.

Los recubrimientos de  $TiO_2$ , compuestos por una mezcla de anatasa y sílice, sobre fibras de vidrio se emplearon por primera vez para tratamientos fotocatalíticos de mineralización de VOCs como el benceno, tolueno y xilenos en aire interior por Pichat y sus colaboradores en el año 2000.



Nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  han mostrado alta eficiencia para la degradación de tolueno por medio de esta técnica (Cao *et al.*, 2000).

Por otro lado, Jo *et al.*, en 2002 evaluaron la eficiencia de las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  (P25) para la mineralización de una mezcla de aromáticos en el aire interior de un vehículo. Observaron que la destrucción de los VOCs aromáticos fue independiente de la humedad, pero dependiente del caudal del reactor y su diámetro hidráulico.

La oxidación fotocatalítica puede producir la descomposición completa de compuestos orgánicos en compuestos inocuos como  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Así, parece por tanto una tecnología prometedora para la degradación de VOCs (Sun *et al.*, 2010).

### 1.4.7. Plasma frío

El plasma es un gas altamente ionizado que se emplea en tecnología para el tratamiento de aire interior. Este plasma produce la precipitación de las partículas por fenómenos electrostáticos, produce radiación UV que promueve la oxidación de moléculas y la eliminación de virus y bacterias. Por otro lado, también da lugar a radicales libres y especies oxidantes que rompen enlaces químicos y transforman sustancias como los VOCs en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  (Fan *et al.*, 2009).

Aunque presenta alta eficiencia en la eliminación de contaminación biológica (Liang *et al.*, 2012) posee una serie de desventajas como una baja eficiencia para la eliminación de VOCs (Vandenbroucke *et al.*, 2011) y la formación de  $\text{NO}_x$  y  $\text{O}_3$  durante los procesos de inducción del plasma, contaminantes más perjudiciales para la salud que los encontrados en el propio aire interior.

### 1.4.8. Biofiltración y purificación botánica

Tanto los biofiltros como el empleo de plantas o sustratos empaquetados han conseguido buenos resultados para el tratamiento de la contaminación de aire interior tratando diversos VOCs y gases de origen inorgánico. Sin embargo, estas tecnologías tan solo han presentado sus ventajas a escala de laboratorio (Lu *et al.*, 2010; Kennes *et al.*, 2009; Yoo *et al.*, 2006) y quedan múltiples metas que alcanzar antes de poder implementarse en los tratamientos comerciales de aire interior (Guieysse *et al.*, 2008).

### 1.4.9. Separación de membrana

Esta tecnología emplea el uso de membranas semipermeables que permiten la difusión de algunos VOCs del flujo de gas hasta otro fluido. Las membranas basadas en zeolitas se han estudiado para la separación de mezclas de VOCs con puntos de ebullición y pesos moleculares similares. Aguado *et al.*, en 2004 mostro como las membranas basadas en zeolitas eran efectivas para la eliminación de formaldehído, hexano y benceno con caudales de 3300, 130 y 30  $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ , respectivamente y concentraciones entre 2 y 230 ppmv. Las principales desventajas son los requerimientos de limpieza necesarios, el incremento de la presión de vapor y la gran resistencia mecánica durante los procesos de operación.

## 1.5. ¿Con que herramientas contamos para su control a gran escala?

A nivel internacional la contaminación del aire sigue siendo uno de los grandes problemas ambientales. La Organización de Naciones Unidas (ONU) dictaminó que casi 3,4 millones de muertes prematuras en el mundo se ven contribuidas por la contaminación de las ciudades. Además de ser un factor predominante en enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cerebrales. De continuar el uso de fuentes de energía no renovables y el crecimiento de los núcleos urbanos como hasta la fecha se prevé que de aquí al 2050 se duplique el número de afectados de forma directa o indirecta por la contaminación del aire (OMS, 2014).

Un informe publicado por la European Environment Agency (EEA) estima que la contaminación atmosférica es la responsable de 430.000 muertes prematuras al año en Europa, convirtiendo así a la contaminación atmosférica en uno de los principales factores de riesgo para la salud. La reducción de la contaminación atmosférica podría generar un aumento en la esperanza de vida de hasta casi dos años según los datos de este mismo informe (EEA, 2011).

Sin embargo, su impacto no se da solamente a nivel sanitario, la EEA ha calculado un elevado impacto económico debido a la contaminación atmosférica, que se traduce en aumento de costes médicos y la reducción de la productividad. Según los datos publicados para el año 2009, solo hablando en términos de contaminación atmosférica el coste para los europeos ha sido de entre 102.000 y 169.000 millones de euros. Tan solo 191 de las 10.000 instalaciones industriales que más contaminan de Europa, fueron las causantes de la mitad del coste total de los daños. Por estos motivos es necesario desarrollar directivas que prevengan y limiten las emisiones de contaminación.

Cabe destacar dos iniciativas internacionales: el Convenio de Ginebra de 1979 sobre contaminación transfronteriza a larga distancia y el Protocolo de Gotemburgo de 1999 relativo a la reducción de la acidificación, de la eutrofización y del ozono en la troposfera (Alenjandrina, 2012)

El objetivo principal del Protocolo de Gotemburgo es controlar y reducir un 40 % desde 1990 hasta 2020 las emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> y VOCs causadas por actividades antropogénicas y que pueden producir efectos nocivos sobre la salud, los ecosistemas naturales, los materiales y los cultivos, debido a la acidificación, la eutrofización o la formación de ozono troposférico como consecuencia de la transmisión atmosférica transfronteriza a larga distancia y procurar que los depósitos de origen atmosférico y las concentraciones en la atmosfera no sobrepasen los valores establecidos para cada parte. El anexo VI del Protocolo de Gotemburgo impone los valores límite de emisión para los VOCs, mostrando la importancia del control sobre este tipo de contaminantes.

Estas iniciativas internacionales han sido las precursoras de las directivas sobre contaminación atmosférica. A continuación, se describen algunas de las más destacadas.

**Directiva 96/62/CE** del Consejo sobre la evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. Esta Directiva marco establece los principios básicos de una estrategia común dirigida a definir y fijar objetivos de calidad del aire ambiente a fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente, evaluar la calidad del aire ambiente en los Estados miembros e informar al público, entre otras cosas mediante umbrales de alerta, así como aumentar la calidad del aire cuando no sea satisfactoria (Directiva 96/62/CE).

**Directiva 2001/81/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos. El objeto de esta Directiva es limitar las emisiones de contaminantes acidificantes y eutrofizantes y de precursores de ozono para reforzar la protección en la comunidad del medio ambiente y de la salud humana frente a los riesgos de los efectos nocivos de la acidificación, la eutrofización del suelo y el ozono en la baja atmósfera, y avanzar hacia el objetivo a largo plazo de no superar las cargas y los niveles críticos y de proteger de forma eficaz a toda la población frente a los riesgos conocidos para la salud que se derivan de la contaminación atmosférica mediante la fijación de techos nacionales de emisión. La directiva se aplica a todas las fuentes resultantes de actividades humanas de los siguientes contaminantes: amoníaco ( $\text{NH}_3$ ); óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ); compuestos orgánicos volátiles (VOCs); dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). Para alcanzar su cometido la directiva establece unos techos nacionales de emisión para el año 2010 para los contaminantes anteriormente mencionados, entendiendo por techos la cantidad máxima de una sustancia expresada en kilotoneladas que puede emitir un Estado miembro en un año civil (Directiva 2001/81/CE).

**Directiva 2008/50/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. Con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente, el aire que respiramos debe ser lo más limpio posible (Directiva 2008/50/CE).

La presente Directiva fusiona en una única Directiva la mayor parte de la legislación existente sobre calidad del aire e incluye los elementos clave siguientes: establece umbrales, valores límite y valores objetivo para evaluar todos los contaminantes que se tratan en la Directiva: dióxido de sulfuro, dióxido de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono. Las autoridades nacionales designarán organismos específicos para llevar a cabo estas tareas utilizando los datos recabados en los puntos de muestreo elegidos. Cuando los niveles de contaminación de una determinada zona superen los umbrales, deberán introducirse planes de calidad del aire para corregir la situación. Estos planes pueden incluir medidas específicas para proteger grupos vulnerables. En caso de riesgo de que los niveles de contaminación superen los umbrales, deberán aplicarse planes de acción a corto plazo para reducir el tráfico de carreteras, las obras de construcción o determinadas actividades industriales, con el fin de eliminar el peligro.

Además, las autoridades nacionales deben garantizar que se informa no solo al público, sino también a las organizaciones medioambientales, de consumidores y otras organizaciones pertinentes, como organismos sanitarios y federaciones profesionales sobre la calidad del aire ambiente (es decir, el aire exterior) de su zona. Y los gobiernos de la UE deben publicar informes anuales sobre todos los contaminantes que cubre la legislación.

No solo se establecen normativas de calidad de aire aplicables a contaminantes específicos y a valores techo anuales y nacionales, también se han establecido normativas propias a sectores que constituyen fuentes de contaminación:

**Directiva 2001/80/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión (Directiva 2001/80/CE).

**Directiva 2010/75/EU** del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación), el objetivo de esta nueva norma es lograr un alto nivel de protección del medio ambiente y simplificar el marco jurídico y las cargas administrativas. Los aspectos más relevantes son: Introduce el concepto de las Mejores

Técnicas Disponibles (MTD) como referencia para establecer los Valores límites de Emisión (VLE). Establece la Autorización Ambiental Integrada (AAI), que integra y coordina procedimientos y autorizaciones existentes, para lo que es imprescindible la plena coordinación administrativa de los organismos implicados en su concesión. Fomenta el dialogo y el intercambio de información entre las administraciones y sectores industriales. Promueve el principio de transparencia informativa, a través de actuaciones como el registro PRTR-España y otros mecanismos de información (Directiva 2010/75/EU).

Asimismo, existen normativas específicas referentes a la limitación de las emisiones de VOCs:

**Directiva 94/63/EC** del Parlamento Europeo y Consejo sobre el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) resultantes del almacenamiento y distribución de gasolina desde las terminales a las estaciones de servicio. Esta Directiva se aplicará a las operaciones, instalaciones, vehículos y barcos utilizados en el almacenamiento, carga y transporte de gasolina entre terminales o de un terminal a una estación de servicio (Directiva 94/63/EC).

**Directiva 1999/13/EC** del Consejo, relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones. Tiene por objeto prevenir o reducir los efectos directos o indirectos de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles al medio ambiente, principalmente a la atmósfera, por medio de medidas y procedimientos que deben aplicarse en las actividades definidas en el anexo I, en la medida en que se lleven a cabo por encima de los umbrales de consumo de disolvente enumerados en el anexo II A. Establece las obligaciones aplicables a instalaciones nuevas y a las ya existentes, y los requisitos que deben cumplir. Sin perjuicio de lo dispuesto en la Directiva 96/61/CE (prevención y control de la contaminación, actualmente derogada), los Estados Miembros podrán definir y aplicar planes nacionales para reducir las emisiones procedentes de las actividades e instalaciones industriales (Directiva 1999/13/EC).

Al centrarnos en la calidad del aire interior también encontramos normativas concretas. A continuación, se citan algunos ejemplos:

**RD 238/2013 o RITE** en el IT 1.1.4.2 sobre exigencias de la calidad del aire interior que define las exigencias según la clasificación del edificio por medio del Código Técnico de la Edificación o la norma UNE-EN-13779 (Real Decreto 238/2013).

**UNE-EN-ISO-16000** un grupo de 32 normas relativas al aire de interiores. La primera parte de la norma intenta ser una ayuda para la planificación de medidas de la contaminación del aire de interiores. Partes adicionales describen la estrategia de muestreo, incluyendo las condiciones a observar para sustancias particulares o grupos de sustancias. Y en otras partes están presentes procedimientos reales para las medidas del aire interiores para sustancias individuales. Las partes 5, 6, 9, 10, 11, 24, 25 y 29 son las relativas a VOCs (UNE-EN-ISO-16000).

**UNE 171330** relativa a calidad ambiental en interiores, que consta de tres partes: diagnóstico de calidad ambiental interior, procedimientos de inspección de calidad ambiental interior y sistemas de gestión de los ambientes interiores. Describe los pasos a seguir para la evaluación de un problema de calidad de aire interior y las metodologías para su estudio y gestión. La aplicación de estas normas son los ambientes interiores de todo tipo exceptuando aquellos que se dedican exclusivamente a la actividad de procesos industriales o agrícolas. En el caso de ambientes interiores de hospitales y centros sanitarios la normativa a aplicar será la **UNE 171340** (UNE 171330, UNE 171340).

**UNE 171212:2008** sobre calidad de aire interior y las buenas prácticas en las operaciones de limpieza. Esta norma tiene como objeto definir los sistemas, procedimientos y productos de limpieza a utilizar con el fin de evitar que dichas operaciones de limpieza comprometan la calidad de aire interior (UNE 171212:2008).

# CAPÍTULO 2

## TÉCNICAS EXPERIMENTALES PARA LA CUANTIFICACIÓN DE VOCs EN AIRE

Para comenzar la identificación y cuantificación de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en aire ha sido necesario, en primer lugar, la optimización de los sistemas de medida. Se han empleado para ello dos técnicas cromatográficas distintas, una de ellas basada en cromatografía de gases, y la otra en cromatografía de líquidos.

Así pues, en la primera parte de este capítulo se describe la metodología basada en cromatografía de gases, y en la segunda parte se expone la metodología basada en cromatografía de líquidos.

Para la cuantificación de la mayoría de los VOCs analizados en este trabajo (excluyendo a los ácidos orgánicos y al formaldehído), se ha utilizado la desorción térmica automática acoplada a cromatografía de gases y espectrometría de masas (ATD-GC-MS).

Para la cuantificación de los ácidos orgánicos (acético y fórmico) se ha empleado la cromatografía iónica con detector de conductividad y para el formaldehído la cromatografía líquida con detector de UV-Vis. Los tres resultan compuestos destacados en la bibliografía sobre aire interior en ambiente de museos (Ryhl-Svendsen y Glastrup, 2002).

Basándose en metodologías previas (Sánchez *et al.* 2012), se ha llevado a cabo la optimización, tanto de los parámetros del equipo de desorción térmica (temperaturas, flujos y presiones), como los parámetros del cromatógrafo de gases y del espectrómetro de masas: rampas de temperatura, columna cromatográfica empleada, etc.

En el caso de la cromatografía de líquidos se han empleado sistemas normalizados (INSHT, 2001; U.S EPA TO-11A, 1999; Souza *et al.*, 1997).

### 2.1. Métodos de análisis por ATD-GC-MS

A la hora de identificar y cuantificar los compuestos orgánicos volátiles presentes en aire, la técnica más comúnmente empleada es la desorción térmica acoplada a cromatografía de gases.

Para los trabajos de identificación y cuantificación de VOCs se ha utilizado un equipo de desorción térmica, *Tubomatrix Automated Thermal Desorber 650* de *Perkin-Elmer*, acoplado a un cromatógrafo de gases con un sistema de detección por espectrometría de masas, *6890/5973* de *Agilent*. Este equipo se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1: De derecha a izquierda, equipo automático de desorción térmica, cromatógrafo de gases y espectrómetro de masas asociado a él.

El método de análisis para las muestras y los patrones de calibrados se describe a continuación. El tubo, relleno de adsorbente Tenax TA® (resina polimérica basada en óxido de 2,6-difenileno) con la muestra o el patrón a analizar, se introduce en el equipo de desorción térmica. Comienza una purga en seco para eliminar el oxígeno y la humedad que haya en el tubo. A continuación, se lleva a cabo la etapa de desorción de los compuestos del tubo a la trampa fría. Dicha etapa consiste en una combinación de temperatura (280 °C), flujo de gas portador (helio) y tiempo (5 min) que arrastra los VOCs a la trampa fría. Esta trampa que también contiene Tenax TA® se encuentra a -30 °C, para lo que se emplea un enfriador electrónico (*Peltier*). Con ello se garantiza que los VOCs se concentren y retengan en ella (figura 2.2).

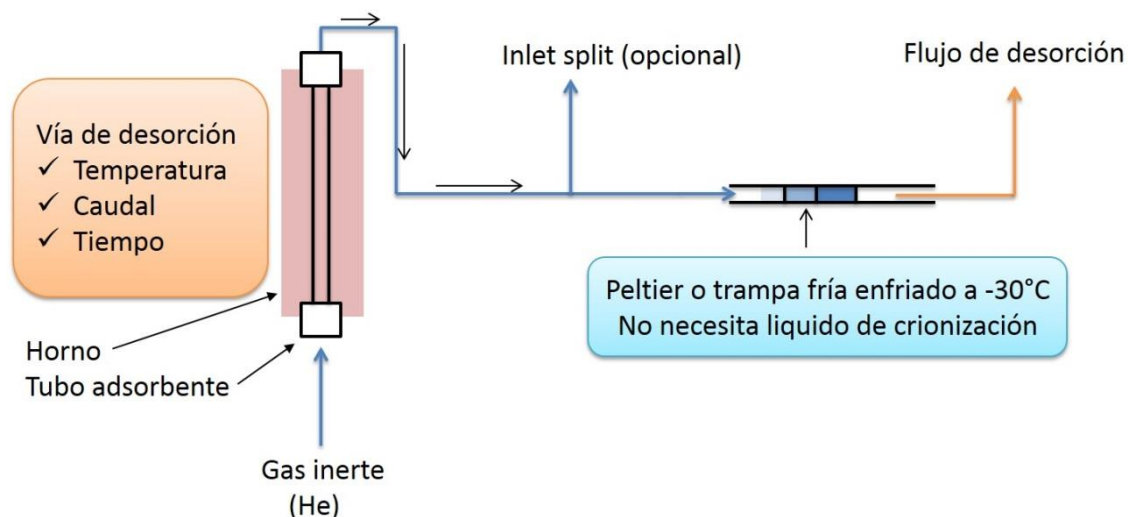
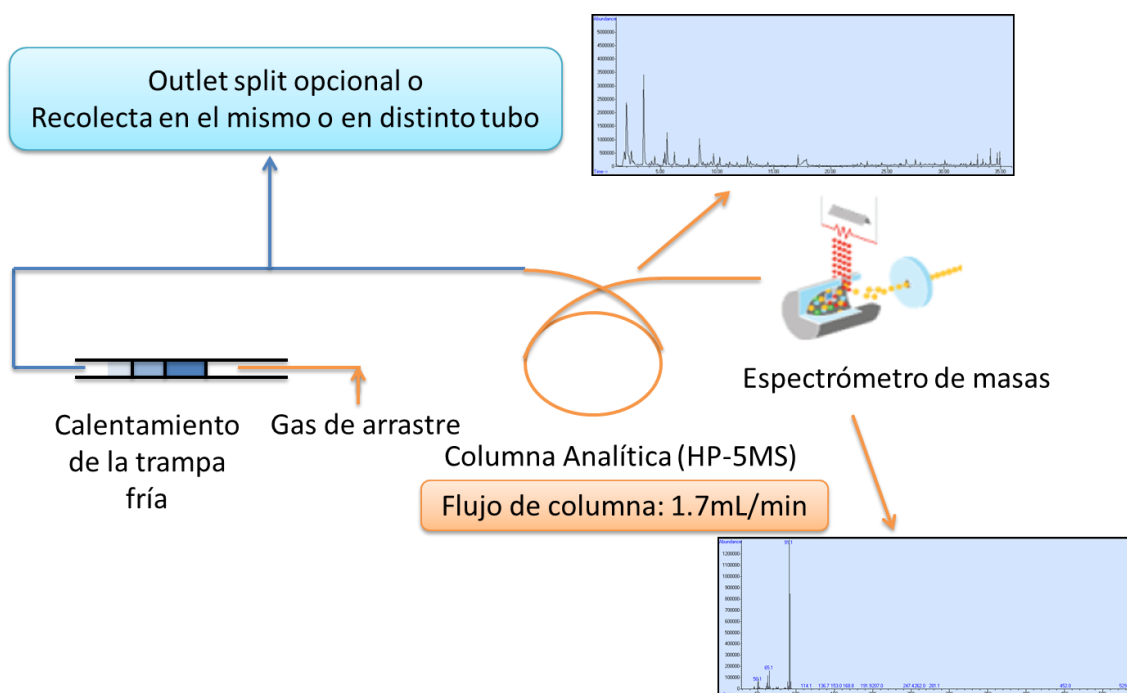


Figura 2.2: Esquema del sistema de desorción de los VOCs del tubo adsorbente a la trampa fría del equipo de desorción térmica.

A partir de entonces la muestra contenida en la trampa se desorbe mediante un calentamiento rápido. La temperatura de la trampa pasa de -30 °C a 280 °C; este proceso dura 5 min. El gas portador arrastra los VOCs desorbidos a lo largo de la línea de transferencia (295 °C) hacia el



cromatógrafo, donde serán separados por medio de la columna cromatográfica, como se observa en la figura 2.3.



**Figura 2.3:** Esquema del sistema de desorción de los VOCs de la trampa fría al cromatógrafo y análisis posterior en el espectrómetro de masas.

El sistema de desorción térmica ofrece una mayor flexibilidad de trabajo al permitir dos tipos de inyecciones: *Split mediante el que se inyecta parte de la muestra* o *Splitless*, con el que se inyecta toda la muestra. Además, en los sistemas de ATD existen dos tipos de divisores: *inlet Split* entre el tubo y la trampa fría, y el *oulet Split* entre la trampa fría y la columna de análisis. Desactivando el *inlet Split* puede emplearse el *oulet Split* para recolectar parte de la muestra en el mismo tubo o en otro diferente, permitiendo así conservar la muestra para análisis posteriores. Para análisis de trazas puede emplearse el modo *splitless* (Marotta *et al.*, 2015).

La columna separa la mezcla en sus componentes individuales. La separación de los VOCs a lo largo de la columna cromatográfica se produce en función de la polaridad de los compuestos y la interacción de estos con la columna, además de la presión de vapor de cada uno de ellos.

La columna cromatográfica empleada en todos los análisis presentados ha sido una HP-5MS, de 30 m de longitud, 0.250 mm de diámetro interno y una anchura de película de 0.25  $\mu\text{m}$  con una fase estacionaria no polar y con un 5 % de fenilmetilpolisiloxano de polaridad. El rango de temperatura de la columna es de  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $325\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Es una columna apolar de características análogas a las empleadas en la metodología de la EPA TO-17 (U. S. EPA, 1999). Permite separar en condiciones óptimas compuestos orgánicos volátiles apolares y de media polaridad, como algunos aldehídos y ácidos orgánicos con alto número de carbonos (Sánchez *et al.* 2012).

Las rampas de temperatura del cromatógrafo (figura 2.4) como ya se ha mencionado, se optimizaron previamente. Inicialmente se parte de una temperatura de  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y a razón de  $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  se aumenta la temperatura hasta  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Una vez alcanzados los  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se incrementa la temperatura hasta  $290\text{ }^{\circ}\text{C}$  a una velocidad de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Finalmente, se mantiene esta temperatura durante 5 min. Tras el análisis la temperatura vuelve a los  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  iniciales. El tiempo total de análisis en el cromatógrafo es de 45 min.

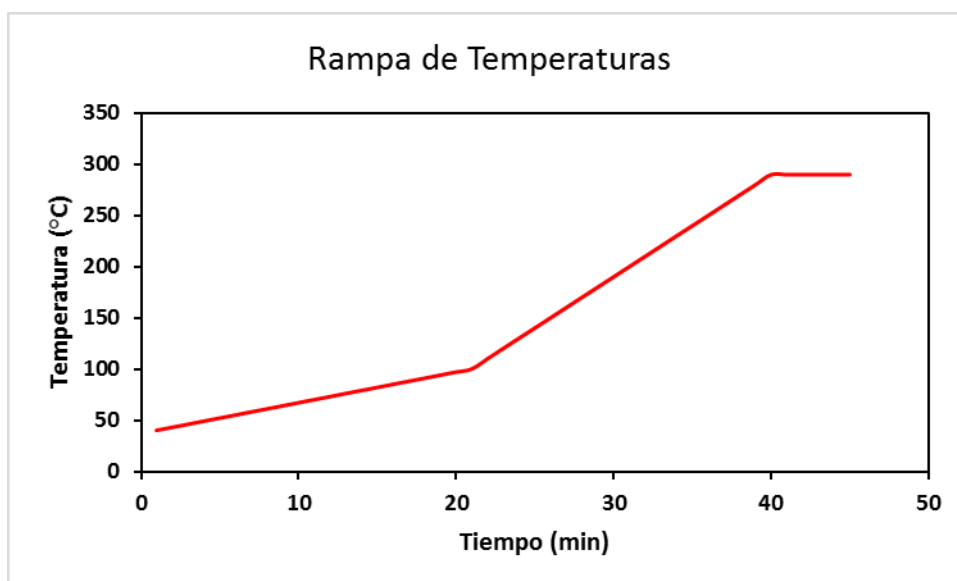


Figura 2.4: Programa de temperaturas del horno del cromatógrafo de gases.

Una vez separados mediante el cromatógrafo de gases, se detectan los VOCs de interés por medio de espectrometría de masas. Esta técnica permite determinar la estructura molecular de una sustancia en función de su relación masa/carga.

La muestra llega a la fuente de ionización (230 °C) donde, como su nombre indica, se produce la ionización y la fragmentación específica de las moléculas según su estructura. Los fragmentos positivos resultantes son repelidos por la fuente hacia el filtro de masas del cuadrupolo (150 °C) que se encuentra en el interior del espectrómetro, donde se separan en función de su relación masa/carga ( $m/z$ ). Estos fragmentos son llevados al detector que genera una señal proporcional al número de iones de esa  $m/z$  específica.

La distribución específica de distintos fragmentos de masa/carga actúa como una huella dactilar. Los espectros de masas de cada VOC quedan grabados y, junto con el tiempo de retención, sirven para la identificación de dicha molécula. Esta técnica permite alcanzar límites de detección del orden de pico gramos.

El espectrómetro de masas adquiere los espectros de masa mediante el método *full-Scan*. De esta forma se registran todas las  $m/z$  especificadas entre dos límites preestablecidos ( $m/z$  45-550 para estos análisis), comenzando a adquirir después de un minuto de su puesta en marcha para evitar la sobresaturación del detector por el disolvente.

El programa empleado para controlar el sistema GC-MS es *Chemstation* de *Agilent*. Mediante este software se establecen las condiciones de trabajo para el cromatógrafo y el espectrómetro de masas. Los valores habituales del espectrómetro de masas se muestran en la figura 2.5 y el haz de electrones que bombardea la muestra tiene una energía de 70 eV.

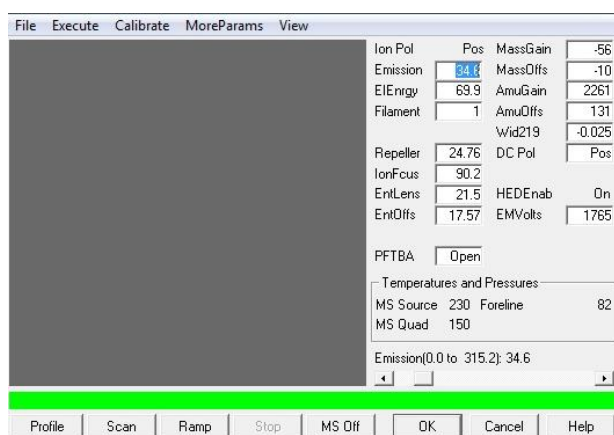


Figura 2.5: Condiciones de trabajo para el espectrómetro de masas.

Las condiciones de trabajo del espectrómetro de masas para que la sensibilidad sea óptima antes de la calibración, se ajustan de forma automática con el *Autotune*, un procedimiento automático de reajuste de las condiciones que realiza la *Chemstation*. Este procedimiento debe repetirse siempre que varíen las condiciones de operación.

Otro de los procesos automáticos que se realizan con el software es el *Tune Evaluation*. Este protocolo permite comprobar que las condiciones de operación no han variado y que el *Autotune* vigente puede seguir en uso. Además, sirve para identificar fugas en el sistema al evaluar la relación de aire y agua.

La temperatura de la línea de transferencia entre el cromatógrafo de gases y el espectrómetro de masas es de 290 °C. Máxima temperatura que alcanza el horno en los análisis.

El analizador del espectrómetro de masas consta de las siguientes partes (figura 2.6):

- Fuente de ionización
- Filtro de masas
- Detector
- Fuentes de calor

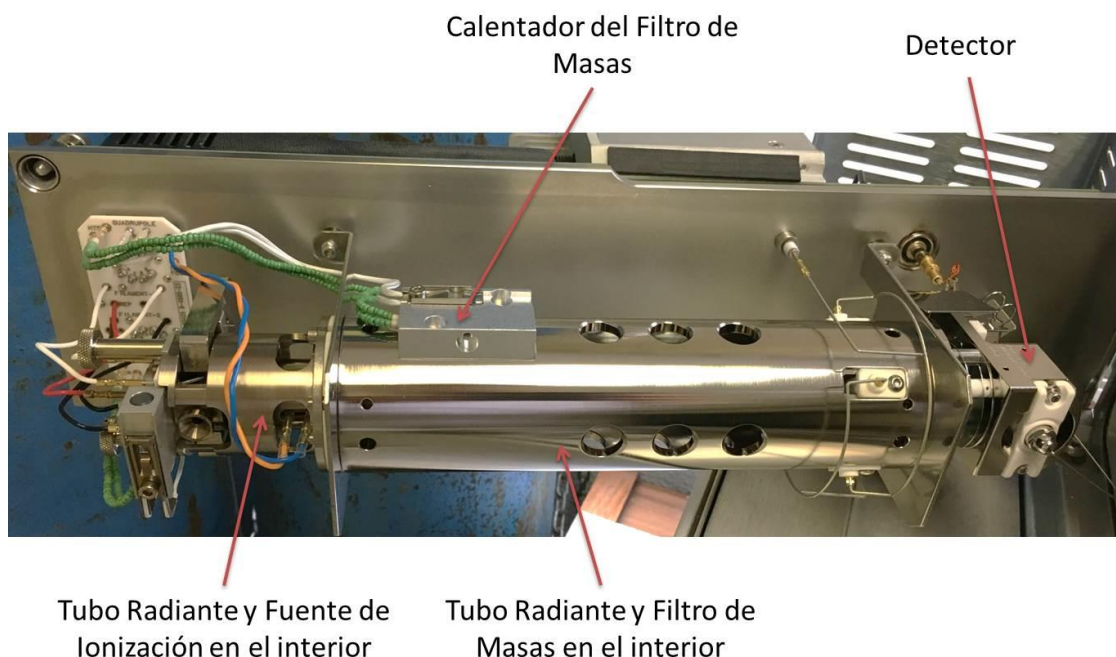


Figura 2.6: Interior del espectrómetro de masas.

La fuente de ionización trabaja por electro-ionización. Los electrones se emiten por medio de filamentos de renio y se guían por medio de un campo magnético (350 Gauss en el centro del campo). Estos electrones de alta energía interaccionan con la muestra, ionizándola y fragmentándola. Los iones positivos se repelen debido al voltaje positivo que hay en la fuente de ionización y son empujados al interior de las lentes de concentración, para enviarse posteriormente al filtro de masas. El filtro separa los iones en función de su  $m/z$ . Este filtro es un cuadrupolo de cuarzo recubierto con una capa de oro. Una vez los fragmentos  $m/z$  son separados pasan al detector que se encuentra a la salida del filtro de masas.

### 2.1.1. Metodología de muestreo

Se describen a continuación los métodos de muestreo con tubo adsorbente empleados para la determinación de VOCs en aire mediante cromatografía de gases-masas acoplado a desorción térmica automatizada.

#### 2.1.1.1. Tubos adsorbentes

La técnica de muestreo se basa en tubos rellenos de adsorbente y su posterior análisis mediante ATD-GC-MS. Como se mencionó anteriormente, está basada en el método TO-17 (U. S. EPA, 1999). La mezcla de VOCs, en fase gas, se recolecta en tubos de vidrio o metal rellenos con uno (lecho simple) o varios adsorbentes (multi-lecho) específicos, en función de los compuestos a determinar.

En los sistemas adsorbentes, como su propio nombre indica, los contaminantes se adsorben en la superficie de un gránulo (principalmente por la superficie interna), perla o cristal de material adsorbente. En la adsorción, el contaminante es retenido físicamente y puede ser liberado (desorbido) de modo relativamente fácil, ya sea por calor o vacío. Por el contrario un adsorbente reacciona químicamente con la sustancia que absorbe, siendo esta retención mucho más fuerte y requiriendo una mayor energía para su liberación.

En el mercado encontramos tres grandes familias de adsorbentes, como se observa en la figura 2.7: carbón activado, zeolitas y polímeros.



**Figura 2.7: Adsorbentes comerciales.**

El carbón se activa por medio de pirolisis hasta conseguir carbón elemental y, con oxidaciones parciales, puede agrandar sus poros (Huggahalli y Fair, 1996). Las zeolitas son aluminosilicatos naturales o sintéticos que poseen tamaños de poros uniformes a través de toda su estructura. Los polímeros adsorbentes poseen poros formados durante su manufactura que varían desde macroporos hasta tamaños moleculares y principalmente grupos funcionales en su superficie que interaccionan con los compuestos que serán analizados.

A la hora de seleccionar un adsorbente resulta necesario tener en cuenta el tamaño molecular más grande a ser adsorbido y el tamaño de poro del adsorbente. Esto es particularmente importante en las zeolitas, ya que sus poros son uniformes en toda la estructura y no se debe esperar que adsorban moléculas de mayor tamaño que el dato facilitado de sus poros. El carbón y los polímeros poseen un rango más amplio que permite cierta lasitud ante los datos promedio (Chandack y Lin, 2010).

Otro factor que se debe tener en cuenta es la afinidad del adsorbente por la sustancia a adsorber.

Por último, también deben valorarse los costos a la hora de reemplazar el adsorbente y la temperatura de desorción. La necesidad de reemplazar las zeolitas es muy rara y el reemplazo de polímeros ocurre con una frecuencia ligeramente mayor, mientras que en el caso de los carbones los tiempos para su reemplazo varían en torno a 6 meses o 5 años, en función del tipo de carbón.

La compañía *General Electric Co.* evaluó la desorción térmica de algunos polímeros adsorbentes y observó que éstos desorben más rápidamente que el carbón. La temperatura máxima de desorción debe ser mayor que la temperatura de ebullición del VOC, sin exceder el punto de fusión del polímero. (U.S EPA 456/F-00-001).

En este trabajo se han empleado tubos rellenos de adsorbentes comerciales de la familia de los polímeros y se han seleccionado en función de su afinidad a los VOCs a analizar. Dentro de los tubos comerciales se encuentran dos tipos de materiales: vidrio y metal (figura 2.8).



Figura 2.8: Tubos comerciales metálicos y de vidrio rellenos de adsorbente polimérico.

Los tubos de adsorbente comerciales se encuentran normalizados, como consta en la figura 2.9. Los tubos de vidrio son cilindros de 9 cm de longitud, 0,4 cm de diámetro interno y 0,2 cm de espesor de pared. Los metálicos son tubos cilíndricos de acero inoxidable de 9 cm de longitud, 0,5 cm de diámetro interno y 0,1 cm de espesor de pared. Ambos tipos poseen tapones Swagelok de 1/4 en sus extremos.

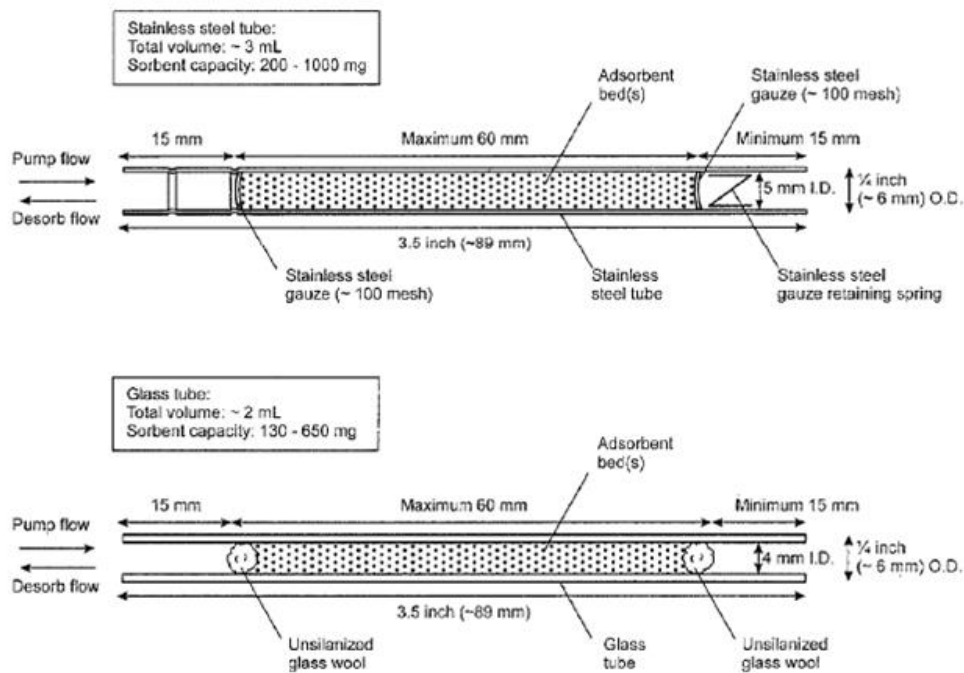


Figura 2.9: Esquema de los tubos rellenos de adsorbentes extraído de U. S. EPA, 1999.

Los tubos de vidrio permiten visualizar el adsorbente y su degradación a lo largo del tiempo, lo cual facilita el proceso de renovación; sin embargo, las diferencias en sus diámetros, aunque mínimas, son fácilmente perceptibles por el equipo de desorción térmica empleado,



provocando dificultades a la hora de presurizar los tubos y, por consiguiente, problemas de fugas. Otros de sus inconvenientes es que poseen menor resistencia a impactos durante los transportes en los muestreos y un mayor coste.

Por este motivo resultó mucho más versátil y económico trabajar con tubos metálicos, menos delicados a la hora de manipular y, en este caso, generan menores problemas de fuga en el equipo de desorción térmica empleado.

Los rellenos varían en función del adsorbente requerido. Existen multitud de adsorbentes comerciales. Algunos ejemplos de éstos y sus principales características se observan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Propiedades de los principales adsorbentes comerciales extraídas de EPA TO-17 (U. S. EPA, 1999).

Adsorbente comercial	Rango aproximado de volatilidad del analito	Temperatura máxima (°C)	Hidrofobicidad
<b>CarbotrapC®</b> <b>CarbopackC®</b> <b>Anasorb®GCB2</b>	n-C <sub>8</sub> hasta n-C <sub>20</sub>	>400	Si
<b>Tenax® TA</b>	n-C <sub>7</sub> hasta n-C <sub>26</sub>	350	Si
<b>Tenax GR</b>	n-C <sub>7</sub> hasta n-C <sub>30</sub>	350	Si
<b>Carbotrap®</b> <b>CarbopackB®</b> <b>Anasorb®GCB1</b>	(n-C <sub>4</sub> ) n-C <sub>5</sub> hasta n-C <sub>14</sub>	>400	Si
<b>Chromosorb® 102</b>	bp 50 °C - 200 °C	250	Si
<b>Chromosorb® 106</b>	bp 50 °C - 200 °C	250	Si
<b>Porapak Q</b>	n-C <sub>5</sub> hasta n-C <sub>12</sub>	250	Si
<b>Porapak N</b>	n-C <sub>5</sub> hasta n-C <sub>8</sub>	180	Si
<b>Spherocarb</b>	C <sub>3</sub> hasta n-C <sub>8</sub>	>400	No
<b>Carbosive SIII®</b> <b>Carboxen 1000®</b> <b>Anasorb® CMS</b>	-60 °C hasta 80 °C	400	No
<b>Zeolite</b> <b>Molecular Sieve 13X</b>	-60 °C hasta 80 °C	350	No
<b>Carbón de coco</b>	-80 °C hasta 50 °C	>400	-

En estudios anteriores el grupo FOTOAIR ya evaluó tres adsorbentes comerciales (Tenax TA®, Chromosorb® 106, AirToxics) para seleccionar el más adecuado para el muestreo de VOCs en un amplio rango de volatilidades. De estas pruebas resultó que los tubos de Tenax TA® fueron los más adecuados para el amplio número de compuestos a cuantificar en este trabajo, además de conseguir en ellos una limpieza más efectiva y ausencia de picos fantasmas como si ocurría en el caso del Chromosorb® 106.

#### 2.1.1.2. Localización del muestreo

En los muestreos de VOCs no sólo se deben tener en cuenta los cambios en la concentración de las sustancias a determinar con el tiempo, sino que también es necesario considerar la variación espacial. Por tanto, es necesario conocer la habitación donde se realizarán los muestreos en el caso de la evaluación del aire interior, así como la localización del sistema de toma de muestra y las posibles fuentes de contaminación dentro de la habitación. De forma habitual, el centro de la habitación se considera la localización más adecuada, pero, en algunas



ocasiones no es posible emplazar en dicha posición los sistemas de toma de muestra. En este caso se deben colocar los captadores a más de un 1 m de cualquier pared, y las muestras deberán captarse a una altura entre 1 m y 1,5 m por encima del suelo, al considerarse la altura media aproximada de la zona de respiración (UNE-EN 16000-1:2006).

En circunstancias específicas pueden ser necesarias localizaciones alternativas en función del interés del estudio y la medida llevada a cabo, (por ejemplo, en el caso de evaluar las emisiones de aparatos de cocina que causan variaciones en el movimiento térmico del aire).

En caso de trabajar en locales ocupados, deben mantenerse las precauciones necesarias para evitar, tanto como sea posible, la intervención humana.

### 2.1.1.3. Muestreo activo

Los métodos tradicionales de muestreo empleados por la EPA (TO-15 y TO-17) para el análisis de VOCs y SVOCs se basan en muestreos activos (U. S. EPA, 1999). En el muestreo activo se fuerza un caudal conocido de aire a través de un tubo adsorbente por medio de bombas. Las ventajas de este tipo de muestreo frente a otros se detallan a continuación (UNE-EN 16000-1:2006):

- Requiere menor tiempo la toma de muestra.
- Muestra elevados volúmenes de aire, lo cual proporciona una muestra más representativa independientemente de las interacciones ambientales.
- Permite obtener menores límites de detección.
- Retienen compuestos de muy elevada volatilidad, al favorecer la adsorción forzando el aire a través del sistema de toma de muestra.
- Sus resultados son más representativos para exposiciones a corto plazo y caracterización de emisiones de materiales.

En este caso se han empleado bombas *Gilian GilAir Plus* calibradas a 200 ml/min durante un tiempo de muestreo de 60 min, como se muestra en la figura 2.10.



Figura 2.10: Descriptiva de una bomba Gilian GilAir Plus.

Para la toma de muestras de aire interior, el volumen de un muestreo activo horario debe ser inferior al 10 % de la velocidad de ventilación. En el caso de que la velocidad de ventilación no se pueda medir o no sea un dato disponible, el criterio empleado para un muestreo horario debe ser inferior al 10 % del volumen de la habitación (UNE-EN 16000-1:2006).

La duración del muestreo debe ser apropiada para el límite de cuantificación del método analítico elegido, es decir, la masa del analito recogido durante el proceso debe hacer posible una identificación clara y una cuantificación fidedigna. Por otro lado, cabe destacar que una prolongación del tiempo de muestreo no incrementa necesariamente la cantidad de analito recolectada.

En el caso de muestreos en aire exterior, para determinar el tiempo óptimo de muestreo se ha llevado a cabo una prueba de toma de muestra donde se han evaluado réplicas de 1, 2, 3 y 4 h (figura 2.11). Tras su análisis, se ha observado que un tiempo de muestreo prolongado no otorga mejores resultados ni permite la visualización de un mayor número de VOCs. Por tanto, se ha decidido realizar tomas de muestra de 1 h y así poder tener una mayor diversidad de puntos de muestreo.

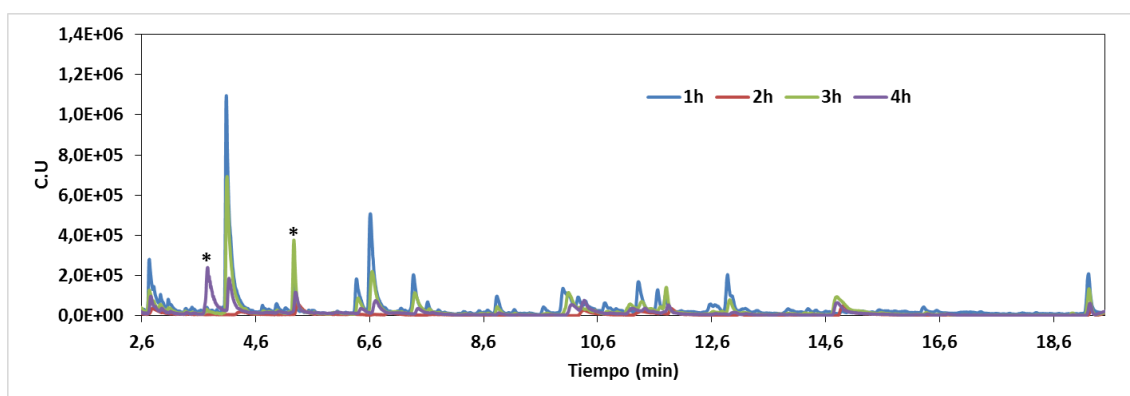


Figura 2.11: Ensayos para la determinación del tiempo óptimo de muestreo. Las estrellas marcan de izquierda a derecha los dos únicos compuestos (heptano y hexametilticlotrisilixano) que mejoraron su sensibilidad al aumentar el tiempo de muestreo.

Una vez la toma de muestra ha concluido, los tubos se tapan con los tapones Swagelok de ¼ en sus extremos y se conservan en un congelador a -30 °C hasta su análisis. El almacenaje de las muestras no ha de ser mayor de 3 meses para evitar contaminaciones.

### 2.1.1.4. Muestreo pasivo

Las técnicas de muestreo pasivo se han empleado para monitorizar VOCs y SVOCs durante varias décadas (Palmer y Gunnison, 1973). Algunas de las ventajas sobre técnicas más tradicionales para el muestreo en aire interior, como las empleadas en los métodos de la EPA TO-15 y TO-17 se describen a continuación

- Protocolos de muestreos más simples, menor riesgo de error por parte del operador, menor coste en la formación del operador.
- Los dispositivos pasivos son pequeños y ligeros. Se colocan de forma discreta; resulta más barato el muestreo y más sencillo su transporte.
- Operan sin riesgo de pérdida de adsorbente o fugas y cálculos equivocados de volumen de muestreo.
- Se obtienen resultados más precisos en muestreos de larga duración para ser comparados con la exposición laboral empleada en prevención de riesgos laborales.

- Tiene un valor promedio de cambios durante un determinado tiempo.

En el muestreo pasivo, el aire se deja difundir a través del dispositivo de forma natural. Existen distintas geometrías para los dispositivos pasivos: tubo, placa, radial y tubo de permeación (figura 2.12). Para los análisis de este trabajo de tesis doctoral se han empleado los de tipo tubo (figura 2.13).

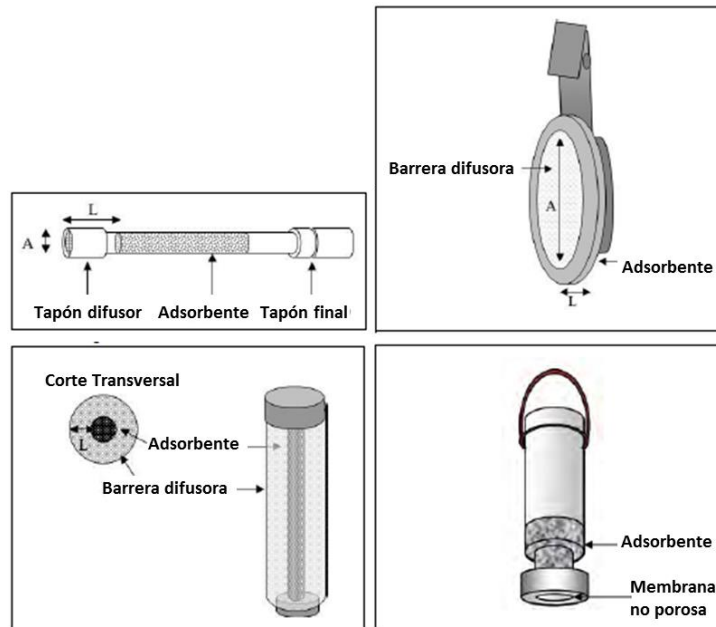


Figura 2.12: Ejemplo de los distintos dispositivos pasivos. Imagen modificada de (U.S. EPA/600/R-14/434, 2014).



Figura 2.13: Tubo relleno de adsorbente durante un muestreo pasivo en el Museo Arqueológico Nacional (MAN).

El tiempo de la toma de muestra es más prolongado que en el caso anterior, siendo lo habitual entre 1 y 7 días. Estos muestreos son más susceptibles a la influencia de las condiciones ambientales mostrando variaciones con la temperatura y la humedad relativa, además de obtener resultados más representativos de los promedios de larga exposición (EPA/600/R-14/434, 2014).

Hay que considerar los siguientes aspectos técnicos a la hora de situar el muestreador pasivo en aire interior:

- Velocidad del aire: el coeficiente de difusión puede verse afectado por la velocidad del aire, tanto por exceso como por defecto. No debe colocarse el dispositivo pasivo en zonas de régimen turbulento, próximas a ventanas, puertas, sistemas de aire acondicionado, etc; ni en zonas con una ventilación insuficiente, para conseguir así una atmosfera representativa en el dispositivo.
- Humedad: hay que evitar zonas de alta humedad, ya que esta puede afectar al coeficiente de difusión.
- Seguridad: los dispositivos deben colocarse en zonas donde se minimice el riesgo de accidente o intervención física por parte de personal no autorizado.

Una vez la toma de muestra ha concluido, su transporte y almacenamiento hasta el análisis sigue el mismo procedimiento descrito anteriormente para los dispositivos de muestreo activo.

### 2.1.1.5. Medidas en paralelo

Teniendo en cuenta el permanente intercambio entre el aire exterior y el interior por procesos de infiltración y ventilación, siempre es necesario realizar muestreos en paralelo entre el aire interior del edificio a evaluar y su aire exterior.

Las muestras de aire exterior deben captarse en las proximidades del edificio a evaluar, al menos a 1 m de distancia. En el caso de que dicho edificio cuente con sistemas de climatización (HVAC, siglas en inglés), el muestreo de aire exterior debe realizarse cerca de la entrada del aire.

### 2.1.1.6. Gases y otros equipos auxiliares

Existen otros equipos auxiliares y gases necesarios además del equipamiento para la toma de muestra y el análisis que se han descrito anteriormente.

Se ha empleado como gas portador (fase móvil) para el equipo de análisis (ATD-GC-MS), helio (Air Liquide Alphagaz) con una pureza  $\geq 99,999$  %. Viene suministrado en botella de tipo B50 (200 bares de presión).

Asimismo, se ha empleado aire sintético (Air Liquide Alphagaz), con una pureza  $\geq 99,999$  %, para mover todo el sistema de válvulas del equipo de desorción térmica. Al igual que en el caso del helio, se ha suministrado en botellas de tipo B50. En este caso fluye a 100 ml/min, no sólo para el movimiento de las válvulas, sino también para evitar la formación de escarcha en el exterior de la trampa fría.

Los altos niveles de pureza del Helio empleado han aportado grandes mejoras en la relación señal/ruido y un aumento en la sensibilidad debido a una mayor estabilidad de la línea base.

Para llevar a cabo la limpieza de los tubos de Tenax TA® una vez analizados, se han introducido en un horno adaptado para que a su través pase un caudal de 70 ml/min de helio (Air liquide Alphagaz  $\geq 99,999$  % de pureza) a una temperatura de 290 °C durante 1 hora, tras esto se ha llevado el horno a 30 °C. Una vez se alcanzada dicha temperatura, se han cerrado los tubos con sus correspondientes tapones Swagelok y se han almacenado en congelador a -20 °C. Tras los 20 primeros minutos en frío se han vuelto a ajustar sus tapones para evitar contaminaciones por contracción del material.

Finalmente, la temperatura y humedad relativa del laboratorio se han mantenido estables. La temperatura del laboratorio debe rondar los 20 °C, para lo que se ha dispuesto de un sistema de climatización. Al terminar un análisis la temperatura del horno del cromatógrafo es de 290 °C y debe descender hasta los 40 °C en 10 min. Si la temperatura del laboratorio es elevada, puede ocurrir que el horno del cromatógrafo no sea capaz de estabilizar los 40 °C necesarios para comenzar el siguiente análisis, lo que puede retrasar la toma de la siguiente muestra. Sin embargo, el problema más crítico se ha encontrado al estabilizar la trampa fría que se encuentra a -30 °C y se ha comprobado que, a temperaturas de laboratorio superiores a 25 °C, la trampa fría no es capaz de alcanzar y estabilizar los - 30 °C, por lo que, transcurrido un tiempo de 20 min, el sistema del equipo de desorción térmica lo identifica como un fallo del sistema que provoca el descenso de todas las temperaturas por seguridad; esto se traduce en fugas en el sistema, rotura del vacío en el espectrómetro de masas y pérdidas de aire sintético y helio.

### 2.1.2. Identificación de VOCs

En este trabajo se han identificado y cuantificado 50 VOCs encontrados mayoritariamente en aire interior y exterior, además de formaldehído y los ácidos orgánicos (fórmico y acético), que son significativos para ambientes de patrimonio artístico y cultural.

Sus principales propiedades ya se han descrito y se encuentran recogidas en las tablas 1.1 a 1.5 del capítulo 1 de este trabajo.

Es posible identificar un gran número de VOCs mediante un sistema de GC-MS. Empleando el método *full-scan* a una muestra de aire obtenemos un gran número de picos cromatográficos. Estos picos corresponden a VOCs de diversas familias como alcanos, alquenos, aromáticos, compuestos halogenados... entre otros. (Anexo I: Ejemplos de muestras de aire de distintos ambientes).

Para esta primera etapa de identificación se han seleccionado los compuestos mayoritarios encontrados en el ambiente a estudiar. La identificación de estos compuestos de interés se ha llevado a cabo por medio de la librería NIST del espectrómetro de masas y usando patrones líquidos de calidad analítica para esta identificación. La tabla 2.2 muestra los patrones líquidos que se han empleado para la identificación y la cuantificación de los VOCs estudiados. Se ha preferido emplear este método a la predicción teórica del tiempo de retención, ya que conlleva menores errores en la identificación (Katritzky y Gordeev, 1993; Katritzky *et al.*, 1994).

**Tabla 2.2: Patrones de VOCs de calidad analítica empleados para la identificación y cuantificación. Entre paréntesis, la firma comercial.**

VOCs	VOCs
2-metilpentano (Sigma-Aldrich)	mesitileno (Accustandard)
3-metilpentano (Sigma-Aldrich)	1,2,4-trimetilbenceno (Accustandard)
1,3-butadieno (Sigma-Aldrich)	<i>n</i> -decano (Sigma-Aldrich)
1,2-propanodiol (Sigma-Aldrich)	octametilciclotetrasiloxano (Sigma-Aldrich)
<i>n</i> -hexano (Sigma-Aldrich)	1,2,3-trimetilbenceno (Accustandard)
2,2,4-trimetilpentano (Sigma-Aldrich)	cimeno (Accustandard)
benceno (Accustandard)	limoneno (Sigma-Aldrich)

<i>n</i> -heptano (Sigma-Aldrich)	<i>n</i> -butilbenceno (Accustandard)
tolueno (Accustandard)	acetofenona (Sigma-Aldrich)
<i>n</i> -octano (Sigma-Aldrich)	4-etil- <i>m</i> -xileno (Accustandard)
hexanal (Sigma-Aldrich)	4-etil- <i>o</i> -xileno (Accustandard)
2-butanona-oxima (Sigma-Aldrich)	<i>n</i> -undecano (Sigma-Aldrich)
tetracloroetileno (Sigma-Aldrich)	2-butoxietilacetato (Sigma-Aldrich)
hexametilciclotrisiloxano (Sigma-Aldrich)	nonanal (Sigma-Aldrich)
etilbenceno (Accustandard)	alcanfor (Sigma-Aldrich)
<i>o</i> -xileno (Accustandard)	decametilciclopentasiloxano (Sigma-Aldrich)
1-metoxi-2-propilacetato (Sigma-Aldrich)	$\beta$ -terpineol (Accustandard)
<i>m</i> -xileno (Accustandard)	$\alpha$ -terpineol (Accustandard)
<i>p</i> -xileno (Accustandard)	decanal (Sigma-Aldrich)
<i>n</i> -nonano (Sigma-Aldrich)	isobornilacetato (Sigma-Aldrich)
cumeno (Accustandard)	dodecametilciclohexasiloxano (Sigma-Aldrich)
$\alpha$ -pineno (Sigma-Aldrich)	1-pentadeceno (Sigma-Aldrich)
<i>n</i> -propilbenceno (Accustandard)	2-fenilbutiramida (Sigma-Aldrich)
3-etiltolueno (Accustandard)	ácido undecanoico (Sigma-Aldrich)
benzaldehído (Sigma-Aldrich)	diisobutilftalato (Sigma-Aldrich)

Los compuestos *m*-xileno y *p*-xileno se han integrado en el mismo pico cromatográfico. Son dos isómeros difíciles de separar mediante el uso de columnas convencionales, ya que coeluyen en la columna empleada (HP-5MS). Sin embargo, la Directiva 2008/50/CE acepta que su concentración se exprese mediante la suma de ambos isómeros.

Los espectros de masas para los patrones analizados se pueden observar en las tablas del Anexo II: Espectros de masas.

### 2.1.3. Evaluación de los parámetros analíticos

Es necesario determinar la repetitividad, linealidad, sensibilidad, límites de detección y cuantificación para evaluar y validar un método analítico (Dewulf y Van Lagenhove, 1999). Por tanto, se han estudiado varias muestras patrón a diferentes concentraciones de los VOCs a analizar.

#### 2.1.3.1. Curvas de calibrado

Las curvas de calibrado para la cuantificación de los VOCs se han llevado a cabo por medio de patrones externos. Para ello se han empleado los patrones de calidad analítica descritos en la tabla 2.2 disueltos en metanol (Fluka). Se han realizado diversas curvas de calibrado, agrupando los VOCs de interés en función de su grupo funcional. Las cuatro agrupaciones estudiadas han sido las siguientes (tabla 2.3):

Tabla 2.3: Grupos formados para la realización de las curvas de calibrado.

BTX-Aromáticos	Aldehídos y Terpenos	Alifáticos y Alcoholes	Siloxanos y Otros
benceno	hexanal	2-metilpentano	2-butanona-oxima

tolueno	tetracloroetileno	3-metilpentano	hexametildiclotrisiloxano
etilbenceno	1-metoxi-2-propilacetato	1,3-butadieno	octametildiclotetrasiloxano
<i>o</i> -xileno	$\alpha$ -pineno	<i>n</i> -hexano	decametildiclopentasiloxano
<i>m</i> -xileno y <i>p</i> -xileno	benzaldehído	2,2,4-trimetilpentano	dodecametildiclohexasiloxano
cumeno	$\alpha$ -limoneno	<i>n</i> -heptano	ácido undecanoico
<i>n</i> -propilbenceno	acetofenona	1,2-propanodiol	
3-etiltolueno	2-butoxietilacetato	<i>n</i> -octano	
mesitileno	nonanal	<i>n</i> -nonano	
1,2,4 trimetilbenceno	alcanfor	<i>n</i> -decano	
1,2,3 trimetilbenceno	decanal	<i>n</i> -undecano	
<i>p</i> -cimenó	isobornilacetato	$\beta$ -terpineol	
<i>n</i> -butilbenceno	1-pentadeceno	$\alpha$ -terpineol	
4-etil- <i>m</i> -xileno	2-fenilbutiramida		
4-etil- <i>o</i> -xileno	diisobutiltalato		

Para la preparación de las disoluciones se han añadido 5  $\mu\text{l}$  de cada uno de los compuestos que forman la familia y se ha enrasado el total a 1 ml. Ésta se ha establecido como la primera disolución patrón (C1) y se ha empleado para realizar las siguientes diluciones. Para ello se han tomado distintas alícuotas de la disolución patrón inicial (C1) que varían en un rango de 5 – 200  $\mu\text{l}$ . Por último, estas alícuotas se han llevado a un volumen final de 1 ml.

Se ha trabajado en un rango de concentraciones entre 0,3  $\mu\text{gml}^{-1}$  – 2500  $\mu\text{gml}^{-1}$ , con rango de masas de entre 0,1 y 50000 ng aproximadamente según el VOC calibrado. Siguiendo el procedimiento de la EPA TO-17, se han inyectado 5  $\mu\text{l}$  de cada mezcla con una microjeringa (Hamilton Reno, NV, USA) por duplicata en los tubos de Tenax® TA.

### 2.1.3.2. Parámetros analíticos

#### Repetitividad

La repetitividad o precisión describe la reproducibilidad de los resultados, es decir, la concordancia entre los valores numéricos de dos o más mediciones repetidas o que se han realizado exactamente de la misma forma y bajo las mismas condiciones (Skoog y Leary, 1994). Mediante el coeficiente de variación podemos expresar la repetitividad para cada compuesto y nivel de concentración.

El coeficiente de variación (CV), se ha expresado en porcentaje tras el cálculo mediante la expresión de la Ec. 2.1.

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} * 100; \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde SD es la desviación estándar de las áreas obtenidas en las medidas repetidas;  $\bar{x}$  es el valor medio de las áreas obtenidas en las medidas repetidas.

En la tabla 2.4 se presentan los valores obtenidos para los coeficientes de variación de cada compuesto y su concentración.



Tabla 2.4: Coeficientes de variación (CV) obtenidos en los calibrados para las disoluciones de 1-7 donde 1 es la de menor concentración y 7 la de mayor concentración.

	CV (%) Verano							CV (%) Invierno						
BTX-Aromáticos	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
<i>benceno</i>	34,56	5,78	33,95	11,24	4,72	9,92	10,47	11,38	4,02	9,88	0,85	1,73	3,94	1,53
<i>tolueno</i>	12,11	16,11	3,69	1,29	1,41	4,86	2,21	5,87	16,06	25,10	1,41	3,32	0,37	2,52
<i>etilbenceno</i>	13,61	9,86	17,49	2,92	0,82	2,20	18,99	1,04	2,06	5,02	0,53	3,99	0,29	0,76
<i>o-xileno</i>	10,35	18,04	7,24	0,23	2,91	4,06	1,77	0,03	2,91	5,61	1,51	2,36	0,54	0,34
<i>m-xileno y p-xileno</i>	10,87	7,78	1,92	8,23	3,15	2,77	20,18	28,06	13,55	4,19	2,79	2,54	1,59	1,18
<i>cumeno</i>	17,35	3,58	6,23	0,18	0,48	3,64	2,93	0,16	0,31	2,16	2,12	4,26	0,23	1,07
<i>n-propilbenceno</i>	61,05	3,17	5,25	0,84	0,26	4,63	1,78	0,81	0,08	1,84	2,00	4,27	1,57	0,91
<i>3-etiltolueno</i>	23,19	5,76	3,72	4,49	2,15	1,04	2,43	27,50	27,76	17,32	1,69	5,36	3,85	1,07
<i>mesitileno</i>	57,78	1,62	8,19	2,36	1,67	0,86	2,10	0,57	4,04	6,51	2,25	4,60	2,08	0,18
<i>1,2,4-trimetilbenceno</i>	9,68	5,61	5,41	2,95	4,11	5,97	0,22	2,48	15,29	12,15	2,09	3,41	0,55	1,37
<i>1,2,3-trimetilbenceno</i>	7,71	7,81	7,92	2,21	0,78	2,16	3,39	50,03	14,36	9,22	2,84	5,17	4,20	0,87
<i>p-cimeno</i>	0,91	1,00	7,97	0,68	0,21	1,05	1,39	50,77	80,36	9,53	0,90	3,98	3,16	0,59
<i>n-butilbenceno</i>	12,15	7,71	6,45	1,20	1,15	0,86	0,85	51,78	75,35	1,84	3,00	5,12	1,85	2,03
<i>4-etil-m-xileno</i>	22,62	5,49	9,75	0,37	0,16	0,40	0,02	0,84	5,11	5,55	2,38	5,05	3,63	1,08
<i>4-etil-o-xileno</i>	5,81	4,45	12,85	1,97	1,55	1,65	0,86	3,96	2,19	7,74	4,14	6,36	4,50	1,35
Aldehídos y Terpenos	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
<i>hexanal</i>	22,38	51,94	4,00	0,11	8,05	5,53	5,43	20,02	8,92	2,90	2,85	0,39	0,39	0,34
<i>tetracloroetileno</i>	8,69	3,78	3,80	3,49	3,39	1,44	5,82	5,44	3,21	1,88	4,09	1,32	2,19	2,05
<i>1-metoxi-2-propilacetato</i>	10,00	25,72	9,04	5,00	2,90	6,91	2,67	0,45	1,53	5,78	1,01	2,80	2,74	0,71
<i>α-pineno</i>	17,91	2,41	3,80	0,81	2,76	0,77	1,27	4,57	2,82	1,15	3,01	0,28	1,36	0,13
<i>benzaldehído</i>	23,62	54,54	4,63	6,19	2,99	9,10	5,72	6,99	12,23	8,42	10,75	4,35	6,46	2,39
<i>α-limoneno</i>	1,70	5,57	3,41	0,27	0,76	0,51	1,04	6,70	18,11	12,91	2,00	0,70	2,26	1,78
<i>acetofenona</i>	4,90	72,49	5,70	12,96	0,50	6,07	1,93	8,66	2,39	11,84	6,91	8,00	4,03	8,33

<b>2-butoxiacetato</b>	8,49	6,85	14,65	1,96	1,64	4,17	1,23	3,60	8,98	10,73	6,82	14,17	2,54	7,75
<b>nonanal</b>	6,42	10,10	3,50	1,30	3,77	4,64	0,24	4,05	6,05	13,34	10,19	16,13	8,93	1,60
<b>alcanfor</b>	3,78	2,95	1,83	0,30	1,34	2,40	0,76	3,27	4,57	4,41	0,47	1,42	1,78	3,08
<b>decanal</b>	8,39	1,47	7,02	68,28	3,19	6,73	1,64	0,61	14,32	10,36	9,52	9,27	3,07	0,68
<b>isobornilacetato</b>	7,23	24,31	9,74	2,68	0,66	1,18	0,09	17,82	12,05	3,29	1,55	1,76	3,20	3,81
<b>2-fenilbutiramida</b>	22,38	41,43	5,08	5,66	2,22	1,03	0,92	14,65	34,22	24,53	12,91	16,14	15,92	18,25
<b>diisobutilftalato</b>	19,01	8,60	6,54	4,96	3,35	5,25	3,85	28,55	10,69	11,57	11,68	2,79	6,21	8,00
<b>Alifáticos y Alcoholes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>n-hexano</b>	-	-	-	23,30	8,78	13,31	1,98	-	-	12,02	0,46	2,58	6,83	5,76
<b>2,2,4-trimetilpentano</b>	-	-	66,81	1,80	13,50	36,97	12,04	10,42	1,54	2,89	13,02	4,77	9,47	0,31
<b>n-heptano</b>	62,84	0,27	24,80	1,85	7,08	1,59	5,90	2,32	15,82	4,02	22,17	7,83	0,72	9,01
<b>1,2-propanodiol</b>	-	43,50	50,80	59,35	9,63	17,67	0,63	-	31,94	3,24	23,19	10,36	29,23	1,01
<b>n-octano</b>	25,46	36,24	41,10	36,78	0,26	6,74	0,83	1,15	17,67	3,47	0,35	11,85	1,34	1,39
<b>n-nonano</b>	1,65	3,67	2,65	4,19	1,05	2,54	3,54	2,94	8,26	0,35	6,39	1,74	0,14	0,85
<b>n-decano</b>	1,94	19,48	2,51	3,54	0,70	0,41	1,26	24,90	24,82	1,15	2,94	2,26	0,59	5,43
<b>n-undecano</b>	3,64	1,28	3,03	0,86	1,11	4,38	0,13	9,73	3,92	14,28	2,87	1,96	0,01	1,07
<b><math>\beta</math>-terpineol</b>	4,85	22,20	10,31	9,84	0,14	3,72	1,74	9,46	4,98	40,76	2,16	0,90	0,88	1,07
<b><math>\alpha</math>-terpineol</b>	9,34	6,95	6,41	6,49	0,71	2,79	1,09	12,57	3,38	7,54	1,70	11,86	6,21	0,56
<b>Siloxanos y Otros</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>2-butanona-oxima</b>	5,98	15,58	2,50	5,31	1,54	2,36	2,74	7,60	11,07	7,47	2,85	6,31	1,09	1,83
<b>hexametilclotrisiloxano</b>	62,41	80,92	86,12	2,52	7,44	1,62	3,29	0,58	3,34	4,19	1,71	4,16	10,36	1,50
<b>octametilclotetrasiloxano</b>	0,83	5,28	1,93	2,27	1,11	2,20	5,87	0,31	2,97	2,16	0,21	0,62	1,17	1,25
<b>decametilciclopentasiloxano</b>	2,41	4,33	1,28	2,53	1,40	1,43	4,74	0,67	3,53	2,07	0,86	0,07	1,76	1,55
<b>dodecametilciclohexasiloxano</b>	3,27	2,41	0,38	0,89	0,78	2,37	4,93	1,15	1,84	1,46	1,97	0,93	2,20	0,29
<b>ácido undecanoico</b>	57,73	17,79	25,19	10,81	8,30	2,51	5,82	-	-	2,63	7,86	9,75	1,41	0,38

Los resultados han mostrado una óptima repetitividad para los VOCs cuantificados. Menos del 10 % de los valores obtenidos en los coeficientes de variación son mayores al 20 %. Los valores de CV superiores suelen darse en el rango de concentración más bajo. Por tanto, es necesario mantener el espectrómetro de masas en las mejores condiciones para aumentar su sensibilidad y los tubos de adsorbente con cantidades y calidades de adsorbente óptimas.

### Linealidad

Cuando hablamos de calidad de aire interior y exterior, trabajamos en rangos de concentraciones de alta variabilidad en función del ambiente estudiado (Gautrois y Koppmann, 1999; Williams, 2004) y del enfoque a estudiar, ya que, en términos de concentración, no es lo mismo determinar VOCs para seguridad laboral, ya que hablamos de órdenes de magnitud de ppm, o bien para preservación de patrimonio artístico y cultural, donde trabajamos en órdenes de magnitud de ppb. Por tanto, es necesario verificar la linealidad del espectrómetro de masas como detector en un amplio rango de concentraciones.

Por ello, se ha obtenido el área media de los ensayos repetidos para cada compuesto y dilución y se ha representado frente a su concentración. Los puntos se han ajustado mediante mínimos cuadrados, obteniéndose una recta de ajuste del tipo:

$$\text{Respuesta (Área)} = a [\text{ng del VOC en la disolución}] + b; \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde  $a$  es la pendiente de la recta y  $b$  es el valor de intersección del eje de ordenadas cuando el valor del eje de abscisas es nulo. En este caso,  $b$  es igual a cero al obligar a cada recta a pasar por el punto (0,0), quedando la Ec. 2.2 de la siguiente forma:

$$\text{Respuesta (Área)} = a [\text{ng del VOC en la disolución}]; \quad \text{Ec. 2.3}$$

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.5, junto con los coeficientes de determinación ( $R^2$ ).

**Tabla 2.5: Linealidad de la respuesta del ATD-GC-MS. Coeficientes de determinación y parámetros del ajuste mediante mínimos cuadrados para los VOCs analizados.**

BTX-Aromáticos	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
<b>benceno</b>	656951	0,9810	689123	0,9998
<b>tolueno</b>	1,00E+06	0,9844	1,00E+06	0,9848
<b>etilbenceno</b>	1,00E+06	0,9799	2,00E+06	0,9781
<b>o-xileno</b>	3,00E+06	0,9869	4,00E+06	0,9800
<b>m-xileno y p-xileno</b>	1,00E+06	0,9928	2,00E+06	0,9736
<b>cumeno</b>	1,00E+06	0,9877	3,00E+06	0,9910
<b>n-propilbenceno</b>	1,00E+06	0,9867	2,00E+06	0,9926
<b>3-etiltolueno</b>	2,00E+06	0,9942	2,00E+06	0,9870
<b>mesitileno</b>	1,00E+06	0,9947	2,00E+06	0,9952
<b>1,2,4-trimetilbenceno</b>	2,00E+06	0,9931	2,00E+06	0,9907
<b>1,2,3-trimetilbenceno</b>	1,00E+06	0,9941	2,00E+06	0,9914
<b>p-cimeno</b>	1,00E+06	0,9919	2,00E+06	0,9918
<b>n-butilbenceno</b>	1,00E+06	0,9904	3,00E+06	0,9906
<b>4-etil-m-xileno</b>	1,00E+06	0,9900	3,00E+06	0,9920
<b>4-etil-o-xileno</b>	1,00E+06	0,9922	3,00E+06	0,9909

<b>Aldehídos y Terpenos</b>	<b>a</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>a</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>hexanal</i>	62419	0,9929	142242	0,9942
<i>tetracloroetileno</i>	150101	0,9787	384512	0,9890
<i>1-metoxi-2-propilacetato</i>	402055	0,9959	639106	0,9983
<i>α-pineno</i>	903129	0,9901	2,00E+06	0,9904
<i>benzaldehído</i>	968444	0,9993	1,00E+06	0,9906
<i>α-limoneno</i>	773413	0,9909	2,00E+06	0,9928
<i>acetofenona</i>	1,00E+06	0,9973	2,00E+06	0,9906
<i>2-butoxietilacetato</i>	580079	0,9981	1,00E+06	0,9968
<i>nonanal</i>	591905	0,9980	1,00E+06	0,9979
<i>alcanfor</i>	1,00E+07	0,9917	3,00E+07	0,9948
<i>decanal</i>	629678	0,9921	2,00E+06	0,9983
<i>isobornilacetato</i>	637271	0,9966	2,00E+06	0,9956
<i>2-fenilbutiramida</i>	2,00E+07	0,9935	1,00E+07	0,9934
<i>diisobutilftalato</i>	1,00E+06	0,9822	2,00E+06	0,9702
<b>Alifáticos y Alcoholes</b>	<b>a</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>a</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>n-hexano</i>	141275	0,9970	222280	0,9284
<i>2,2,4-trimetilpentano</i>	252714	0,9950	457600	0,9838
<i>n-heptano</i>	114351	0,9714	240310	0,9948
<i>1,2-propanodiol</i>	284059	0,9426	205590	0,9965
<i>n-octano</i>	271384	0,9875	908913	0,9926
<i>n-nonano</i>	839755	0,9801	1,00E+06	0,9741
<i>n-decano</i>	621519	0,9958	1,00E+06	0,9634
<i>n-undecano</i>	720848	0,9881	1,00E+06	0,9751
<i>β-terpineol</i>	806580	0,9451	189501	0,9847
<i>α-terpineol</i>	288883	0,9660	1,00E+06	0,9687
<b>Otros</b>	<b>a</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>a</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>2-butanona-oxima</i>	282215	0,9548	1,99E+05	0,9860
<i>ácido undecanoico</i>	582828	0,9773	8,52E+05	0,9949

Los resultados han mostrado un comportamiento lineal en el intervalo de concentraciones estudiado. Los compuestos que presentan menores coeficientes de determinación pertenecen a aquellos que presentan mayor polaridad y, por tanto, menor afinidad por la columna cromatográfica.

En el caso de los siloxanos, al realizar las primeras pruebas, se ha observado que la respuesta obtenida no es lineal, tal y como se muestra en la figura 2.14, la respuesta obtenida es una polinómica de orden 2. Por este motivo se han realizado dos calibrados para distintos intervalos de concentración: uno para la zona de baja concentración, y otro para la de alta concentración. En la tabla 2.6 se encuentran los coeficientes de determinación y los parámetros de ajuste por mínimos cuadrados.

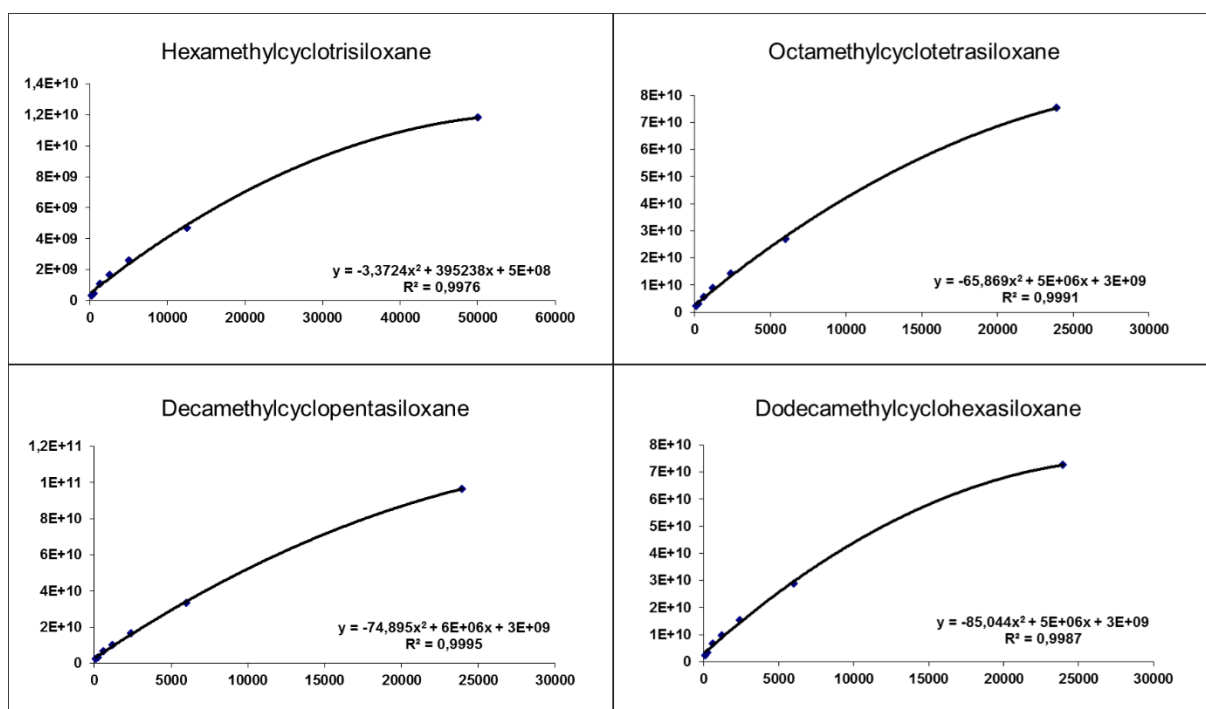


Figura 2.14: Respuesta no lineal de los compuestos de la familia de los siloxanos en el intervalo de masas de 250-50000 ng.

Tabla 2.6: Linealidad de la respuesta del ATD-GC-MS para los calibrados de baja y alta concentración de la familia de los siloxanos. Coeficientes de determinación y parámetros del ajuste mediante mínimos cuadrados para cada compuesto.

Siloxanos	Recta/baja		Recta/alta	
	a	$R^2$	a	$R^2$
<i>hexametilcyclotrisiloxano</i>	152598	0,9042	68052	0,619
<i>octametilcyclotetrasiloxano</i>	4000000	0,9562	2000000	0,9593
<i>decametilcyclopentasiloxano</i>	3000000	0,9299	3000000	0,9722
<i>dodecametilcyclohexasiloxano</i>	3000000	0,7373	396945	0,828

Los coeficientes de determinación para los siloxanos son más bajos que los demás VOCs cuantificados. El problema de determinar estos compuestos orgánicos semi-volátiles reside en su elevada adherencia tanto al material adsorbente de los tubos de muestreo, como a la fase estacionaria de la columna. Esto requiere especial cuidado en el acondicionamiento de los tubos y el equipo de medida tras su calibrado para evitar contaminaciones, tanto en las muestras como en los análisis posteriores.

Sin embargo, son de gran interés, ya que se encuentran en multitud de productos de diversa índole, como son los productos de limpieza, higiene personal, productos de construcción como las siliconas, las pinturas, etc. (Lassen et al, 2005)

Aunque estos compuestos han presentado menor linealidad que el resto de VOCs cuantificados, se puede asegurar que el ATD-GC-MS, con las condiciones de operación adecuadas, ofrece una amplia versatilidad para la determinación de dichos compuestos en aire, dentro de los rangos de concentración estudiados.

### **Sensibilidad**

Se define como la variación que experimenta una señal analítica por unidad de concentración. Si el equipo posee una respuesta lineal, el valor de la sensibilidad viene dado por la pendiente de la recta de calibrado (IUPAC, 1990). Para el equipo de GC-MS y en el rango de concentraciones estudiado, la respuesta del equipo ha sido lineal al cambio de concentración y masa, por lo cual, ha sido posible utilizar los valores de las pendientes de las rectas de calibrado para el estudio de la sensibilidad.

Dentro de los métodos de adquisición del espectrómetro de masas (*SIM* y *full-Scan*) se ha empleado el segundo de ellos ya que resulta imprescindible para la identificación de los diferentes compuestos en las muestras que al ser reales obligaban a su utilización ante la perspectiva de perder información necesaria y todo ello, a pesar de que el método SIM es más selectivo y sensible (de Blas, 2008).

### **Límite de detección**

Existen múltiples definiciones propuestas, así como diversas metodologías para el cálculo del límite de detección (LD), debido a lo cual, organizaciones internacionales como la ISO o la IUPAC han tratado de consensuar sus definiciones y dar una serie de guías para la estimación de este parámetro de calidad tan importante en las técnicas de análisis químico.

Habitualmente se define como la cantidad o concentración mínima de sustancia que puede ser detectada con fiabilidad por el método analítico empleado. Una definición empleada por la norma ISO (ISO, 1997) introduce el término “concentración mínima detectable”, que define como la concentración (o cantidad) neta verdadera de analito en el material sujeto a análisis que conducirá, con una probabilidad  $(1-\beta)$ , a la conclusión de que la concentración (o cantidad) de analito en el material analizado es mayor que la de un blanco. La IUPAC (IUPAC, 1995), en un documento preliminar, proporcionaba una definición similar, adoptando el término “valor verdadero mínimo detectable” como equivalente al límite de detección. El límite de detección se ha calculado por medio de la expresión:

$$LD = 3,3SD \quad Ec. 2.4$$

Donde: SD es la desviación estándar de las áreas obtenidas de la señal cromatográfica para los distintos VOCs en su concentración mínima detectada, y 3,3 es el valor que se obtiene al suponer que las concentraciones siguen una distribución normal con varianza conocida, tomando un nivel de significación por defecto de 0,05 y asumiendo que la varianza es constante cuando la concentración de analito varía entre cero y el límite de detección.

Los resultados obtenidos para el límite de detección se encuentran en la tabla 2.7, en ng y  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para convertir los ng en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dividimos dichos ng por el volumen de aire muestreado en litro, así obtenemos el valor en unidades de concentración.

Tabla 2.7: Límites de detección (LD) del ATD-GC-MS para los VOCs calibrados.

BTX-Aromáticos	LD (ng)	LD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<i>benceno</i>	3,679	0,307
<i>tolueno</i>	4,078	0,340
<i>etilbenceno</i>	0,914	0,076
<i>o-xileno</i>	1,008	0,084
<i>m-xileno y p-xileno</i>	1,302	0,109

<i>cumeno</i>	0,496	0,041
<i>n-propilbenceno</i>	1,252	0,104
<i>3-etiltolueno</i>	0,917	0,076
<i>mesitileno</i>	0,892	0,074
<i>1,2,4-trimetilbenceno</i>	2,227	0,186
<i>1,2,3-trimetilbenceno</i>	0,466	0,039
<i>p-cimeno</i>	1,060	0,088
<i>n-butilbenceno</i>	1,241	0,103
<i>4-etil-m-xileno</i>	0,505	0,042
<i>4-etil-o-xileno</i>	0,338	0,028
<b>Aldehídos y Terpenos</b>	<b>LD (ng)</b>	<b>LD (µg/m³)</b>
<i>n-hexanal</i>	1,735	0,145
<i>tetracloroetileno</i>	0,542	0,045
<i>1-metoxi-2-propilacetato</i>	1,041	0,087
<i>α-pineno</i>	0,812	0,068
<i>benzaldehído</i>	4,507	0,376
<i>α-limoneno</i>	1,140	0,095
<i>acetofenona</i>	8,245	0,687
<i>2-butoxietilacetato</i>	5,417	0,451
<i>nonanal</i>	4,124	0,344
<i>alcanfor</i>	0,057	0,005
<i>decanal</i>	4,975	0,415
<i>isobornilacetato</i>	1,114	0,093
<i>2-fenilbutiramida</i>	0,084	0,007
<i>diisobutilftalato</i>	2,049	0,171
<b>Alifáticos y Alcoholes</b>	<b>LD (ng)</b>	<b>LD (µg/m³)</b>
<i>n-hexano</i>	4,855	0,405
<i>2,2,4-trimetilpentano</i>	2,172	0,181
<i>n-heptano</i>	1,491	0,124
<i>1,2-propanodiol</i>	14,139	1,178
<i>n-octano</i>	1,418	0,118
<i>n-nonano</i>	0,516	0,043
<i>n-decano</i>	0,928	0,077
<i>n-undecano</i>	0,619	0,052
<i>β-terpineol</i>	3,655	0,305
<i>α-terpineol</i>	8,981	0,748
<b>Siloxanos y Otros</b>	<b>LD (ng)</b>	<b>LD (µg/m³)</b>
<i>2-butanona-oxima</i>	15,049	1,254
<i>hexametilclotrisiloxano</i>	1,114	0,093
<i>octametilclotetrasiloxano</i>	10,340	0,862
<i>decametilciclopentasiloxano</i>	9,612	0,801
<i>dodecametilciclohexasiloxano</i>	16,976	1,415
<i>ácido undecanoico</i>	23,520	1,960



La mayoría de los límites de detección han sido menores de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo que indica que el método empleado es válido para la determinación de estos compuestos en aire aun encontrándose a baja concentración.

Al igual que en el caso de los coeficientes de determinación, los siloxanos han sido los VOCs con peores límites de detección. En este caso, en su mayoría se han encontrado valores próximos o por encima de la unidad, salvo para el caso del hexametildiclotrisiloxano cuyo valor ha sido de  $0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esto se explica a causa de que su linealidad no es la óptima debido a la polaridad del compuesto y su interacción con la columna que se ha empleado. Pese a que el sistema para su determinación es válido, deberían buscarse alternativas para mejorar sus límites de detección.

En el caso de los alcoholes, los ácidos y las oximas, los límites de detección también han sido altos en comparación con el resto de VOCs determinados. En este caso, la limitación en la detección ha residido en la polaridad de la columna. Las condiciones del análisis son favorables para la detección de compuestos apolares. Por este motivo se hablará más adelante de la metodología optimizada mediante cromatografía de líquidos para la detección de ácidos orgánicos y formaldehído en aire, compuestos polares de especial interés para la conservación del patrimonio artístico y cultural.

### Límite de cuantificación

El límite de cuantificación de un método analítico es la mínima cantidad de analito presente en la muestra que se puede cuantificar bajo las condiciones experimentales descritas para dicho método, con una adecuada exactitud y precisión. Dicho límite se ha calculado por medio de la Ec.2.5.

$$LC = 10SD \quad \text{Ec. 2.5}$$

Y los resultados pueden verse en la tabla 2.8.

Tabla 2.8: Límites de cuantificación (LC) del ATD-GC-MS para los VOCs calibrados

BTX-Aromáticos	LC (ng)	LC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<i>benceno</i>	12,169	1,014
<i>tolueno</i>	13,489	1,124
<i>etilbenceno</i>	3,023	0,252
<i>o-xileno</i>	3,335	0,278
<i>m-xileno y p-xileno</i>	4,308	0,359
<i>cumeno</i>	1,641	0,137
<i>n-propilbenceno</i>	4,140	0,345
<i>3-etiltolueno</i>	3,034	0,253
<i>mesitileno</i>	2,950	0,246
<i>1,2,4-trimetilbenceno</i>	7,366	0,614
<i>1,2,3-trimetilbenceno</i>	1,548	0,129
<i>p-cimeno</i>	3,507	0,292
<i>n-butilbenceno</i>	4,105	0,342
<i>4-etil-m-xileno</i>	1,672	0,139
<i>4-etil-o-xileno</i>	1,118	0,093
Aldehídos y Terpenos	LC (ng)	LC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

<i>hexanal</i>	5,740	0,478
<i>tetracloroetileno</i>	1,793	0,149
<i>1-metoxi-2-propilacetato</i>	3,443	0,287
<i><math>\alpha</math>-pineno</i>	2,686	0,224
<i>benzaldehído</i>	14,908	1,242
<i><math>\alpha</math>-limoneno</i>	3,771	0,314
<i>acetofenona</i>	27,272	2,273
<i>2-butoxietilacetato</i>	17,918	1,493
<i>nonanal</i>	13,640	1,137
<i>alcanfor</i>	0,188	0,016
<i>decanal</i>	16,454	1,371
<i>isobornilacetato</i>	3,685	0,307
<i>2-fenilbutiramida</i>	0,278	0,023
<i>diisobutilftalato</i>	6,777	0,565
<b>Alifáticos y Alcoholes</b>	<b>LC (ng)</b>	<b>LC (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
<i>n-hexano</i>	16,060	1,338
<i>2,2,4-trimetilpentano</i>	7,184	0,599
<i>n-heptano</i>	4,932	0,411
<i>1,2-propanodiol</i>	46,767	3,897
<i>n-octano</i>	4,689	0,391
<i>n-nonano</i>	1,707	0,142
<i>n-decano</i>	3,069	0,256
<i>n-undecano</i>	2,048	0,171
<i><math>\beta</math>-terpineol</i>	12,089	1,007
<i><math>\alpha</math>-terpineol</i>	29,705	2,475
<b>Siloxanos y Otros</b>	<b>LC (ng)</b>	<b>LC (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
<i>2-butanona-oxima</i>	49,777	4,148
<i>hexametilciclotrisiloxano</i>	3,684	0,307
<i>octametilciclotetrasiloxano</i>	34,203	2,850
<i>decametilciclopentasiloxano</i>	31,794	2,649
<i>dodecametilciclohexasiloxano</i>	56,150	4,679
<i>ácido undecanoico</i>	77,797	6,483

## 2.2. Método de análisis por cromatografía líquida

Tanto el formaldehído, para el que emplearemos su acrónimo FMD, como los ácidos orgánicos (acético y fórmico), se han determinado mediante cromatografía de líquidos. En el caso del FMD se ha empleado la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y un detector de UV-Vis, mientras que para los ácidos orgánicos se ha empleado un detector de conductimetría iónica.

La determinación de los ácidos orgánicos se ha llevado a cabo por el laboratorio de cromatografía de la División de química del CIEMAT mediante análisis estandarizados. Para ello

se ha empleado cromatografía iónica, Dionex ICS-2000 con una precolumna Dionex AG19 y una columna de separación Dionex AS19. Para el sistema de detección se ha usado un detector por conductimetría Dionex (ASRS). El límite de detección para estos iones trabajando en condiciones estándar es del orden de 0,1 mg/l. (Sánchez y García, 2009 y Sánchez *et al.*, 2009).

La toma de muestras se ha realizado empleando filtros impregnados en  $\text{CaCO}_3$  que han empleado el procedimiento descrito por (Souza y Carvalho, 1997; Souza *et al.*, 1999; Kontozova-Deutsch *et al.*, 2008). La toma de muestra se ha realizado a 200 ml/min durante 1 h como en el caso de los VOCs anteriormente descritos.

El método de análisis para la determinación de FMD en aire se ha basado en la metodología MTA/MA-062/A08 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). A diferencia de que, en la metodología de análisis citada, el calibrado se ha llevado a cabo empleando los mismos cartuchos (Waters que se han descrito en el apartado 2.2.1.1) que se han empleado en la toma de muestra en lugar de usar disoluciones patrón. La descripción de estos cartuchos se ha realizado en apartados posteriores. Para ello se ha diseñado y construido un sistema que ha permitido llevar a cabo la calibración de los cartuchos Waters usando una mezcla gaseosa. En la figura 2.15 se observa el esquema y una imagen correspondiente al sistema de calibración de FMD en nuestros laboratorios.

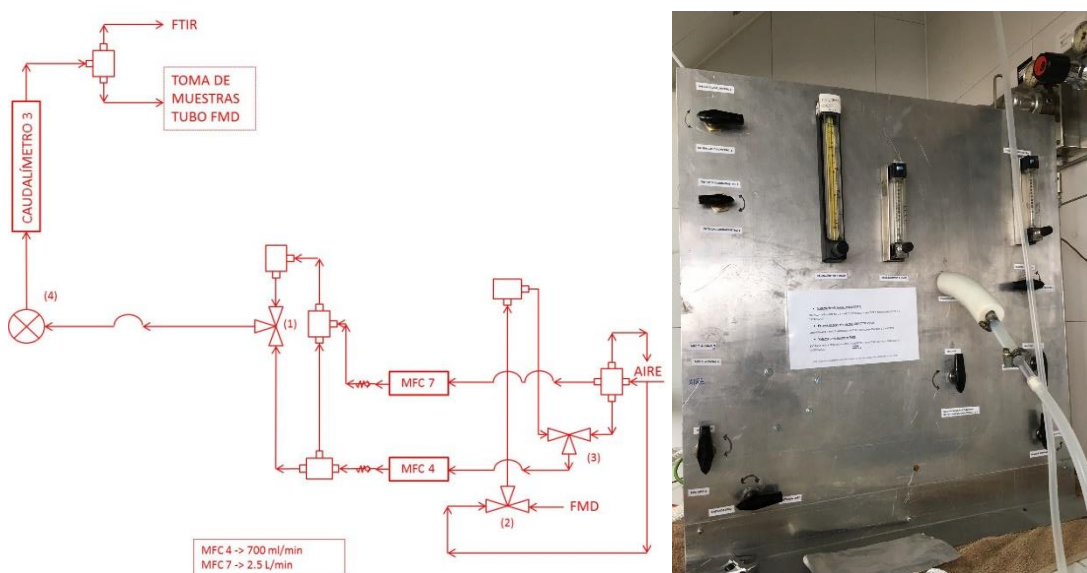


Figura 2.15: Esquema e imagen correspondientes al sistema de calibración de FMD en muestras de aire.

Empleando una botella de 5 ppm de FMD se han realizado distintas diluciones con aire sintético para obtener los distintos puntos de calibrado. El caudal se ha ajustado a 500 ml/min y el flujo de gas a través del tubo se ha mantenido durante 1 h.

La elución de los cartuchos (ver figura 2.16) se ha realizado con 5 ml de acetonitrilo. El extracto se ha determinado por HPLC. El equipo con el que se ha trabajado ha sido el HP1050 con detector de UV-Vis Diodo Array 1040M que se observa en la figura 2.17.

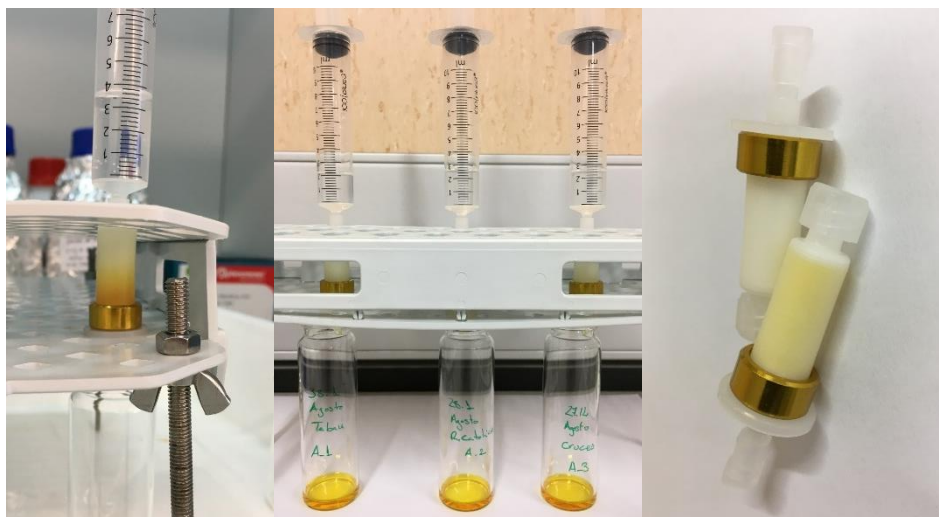


Figura 2.16: La imagen muestra la extracción del FMD retenido en los cartuchos con 5 ml de acetonitrilo. A la derecha de la imagen se observa un cartucho extraído (sin color) y otro sin extraer (anaranjado).



Figura 2.17: Equipo de HPLC HP1050 con Diodo Array 1040M empleado para los análisis de FMD en aire.

Para la separación cromatográfica se ha empleado una columna C18 Zorbax Eclipse Plus de Agilent de 150 mm de longitud, 4,6 mm de diámetro interno y 3,5 micras de tamaño de poro. Como fase móvil una mezcla 60/40 de acetonitrilo/agua con un caudal de 1 ml/min. La temperatura de la columna se ha mantenido constante a 40 °C; por tanto, se ha trabajado en modo isotérmico e isocrático. El detector se ha fijado a 360 nm, el tiempo de análisis ha sido de 8 - 12 min y el volumen de inyección de 20 µl.

### 2.2.1. Metodología de muestreo

Se describe a continuación el método de muestreo empleado para la determinación de FMD en aire.

#### 2.2.1.1. Tubos adsorbentes

El FMD recibe cada vez más atención en aire interior tanto por ser una sustancia de alta toxicidad como por favorecer la formación fotoquímica de ozono en aire.

El método más sensible y específico para analizar aldehídos y cetonas en aire consiste en hacerlas reaccionar con 2,4-dinitrofenilhidrazina (DNPH) y posteriormente analizar las hidrazonas obtenidas en las muestras por cromatografía de líquidos.

En este trabajo, para llevar a cabo los calibrados y las tomas de muestras se han empleado tubos de sílice ya impregnados con DNPH, Sep-Pak® DNPH-silica de la firma comercial Waters, los cuales cumplen los requisitos del método TO-11A de la EPA (U.S. EPA TO-11A, 1999).

Cuando el FMD del aire se adsorbe en los cartuchos de DNPH-silica, se produce la derivatización que observamos en la figura 2.18. En el caso del formaldehído, R y R<sup>1</sup> son átomos de H.

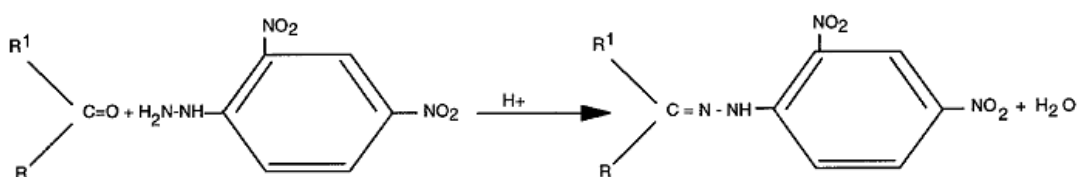


Figura 2.18: Esquema de derivatización del FMD con la DNPH.

Como hemos visto anteriormente, se han diluido empleando acetonitrilo, para posteriormente analizar la elución por cromatografía de líquidos con detección de UV-Vis entre 350-380 nm.

Se ha seleccionado este método de muestreo al conseguir mejores resultados que los métodos tradicionales que emplean borboteo a través de *impinger*, debido a la minimización de contaminación del DNPH, puesto que éste se encuentra contenido en el cartucho y su exposición al aire se limita a la toma de muestra. Otras de las ventajas han sido la disminución en el consumo de solvente, la comodidad a la hora de realizar muestreos de campo y una reproducibilidad superior, además del ahorro de tiempo, la disminución del ruido de fondo y el aumento de rendimiento.

Dentro de los cartuchos pre-impregnados encontramos dos tipos cuya única diferencia es la longitud del cartucho, lo cual se traduce en la cantidad de DNPH-silica que contiene. Se denominan cortos aquellos con 350 mg de sílice y largos los que contienen 800 mg. En ambos casos, el tamaño de partícula varía entre 55 – 105 µm, el tamaño de poro es de 125 Å y poseen un recubrimiento de 10 µmol/cartucho. Para estos estudios se han empleado los cartuchos cortos.

### 2.2.1.2. Localización del muestreo

Se ha seguido las mismas consideraciones del apartado 2.1.1.2 sobre los muestreos de VOCs para ATD-GC-MS, basadas en la norma UNE-EN 16000 allí citada (UNE-EN 16000-1:2006).

### 2.2.1.3. Muestreo activo

El método tradicional de muestreo empleado por la EPA (TO-11A) para el análisis de FMD en aire se basa en muestreos activos (U. S. EPA, 1999). En este tipo de muestreo, se fuerza un caudal conocido de aire a través de un tubo adsorbente por medio de bombas.

En este caso, se han empleado bombas *Gilian 800i* calibradas a 500 ml/min durante un tiempo de muestreo de 120 min como muestra la figura 2.19.



Figura 2.19: Muestreador Gilian 800i para la determinación de FMD en aire.

Según lo descrito en el método TO-11A de la EPA el caudal típico para la toma de muestras de FMD se debe encontrar entre 1 – 0,8 l/min a través del cartucho. En nuestro caso se ha establecido un caudal de 0,5 l/min y se ha aumentado el tiempo de muestreo para alcanzar los volúmenes de aire muestreado recomendados por la norma y que se encuentran entre 60 y 120 l.

Esto se debió a que los cartuchos comerciales generan una gran pérdida de carga en las bombas de muestreo, por lo que el uso de captadores de bajo error en el caudal se ve limitado. Por tanto, para poder emplear muestreadores de mayor estabilidad en la fijación de los caudales, fue necesario disminuir el volumen de aire a través del cartucho.

### 2.2.2. Identificación del FMD

Se han preparado disoluciones de 2,4-dinitrofenilhidrazina con formaldehído (DNPH-FMD) empleando patrones de Sigma Aldrich para identificar el tiempo de retención al cual aparece el FMD (figura 2.20).

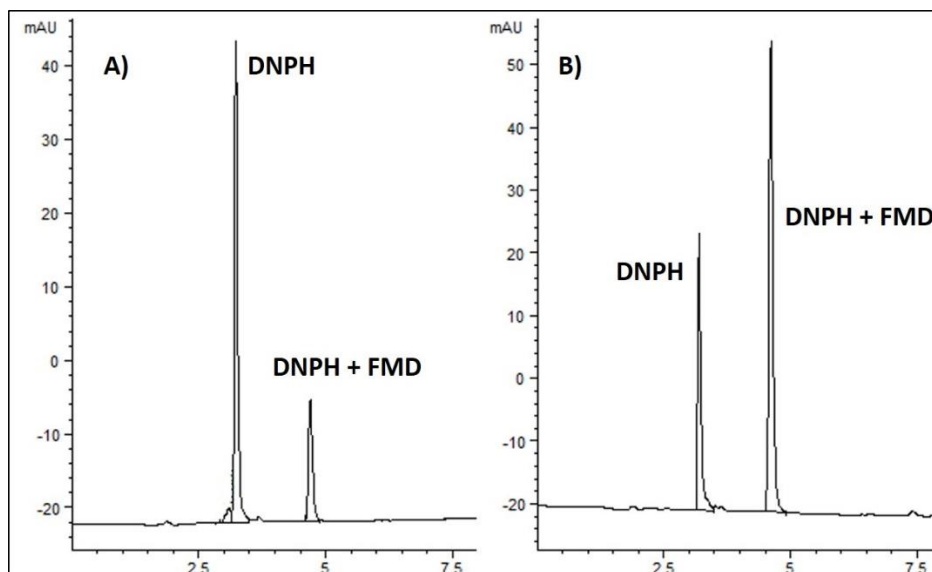


Figura 2.20: Cromatogramas obtenidos de dos patrones de formaldehído (A)- concentración 5 ppm y (B) concentración 20 ppm.



Por tanto, podemos concluir que el primer pico corresponde al DNPH que no ha reaccionado con FMD y el segundo al DNPH-FMD.

Estos patrones se han comparado con los resultados de los cartuchos extraídos del sistema desarrollado y descrito anteriormente para la calibración de FMD. Una vez identificado el pico correspondiente al FMD, se han medido los puntos de calibrado extraídos del sistema de calibración de FMD y se ha determinado la curva de calibrado. Posteriormente se han medido las muestras de aire y se ha extrapolado de dichos calibrados la concentración de FMD en aire.

### 2.2.3. Evaluación de los parámetros analíticos

Al igual que con los VOCs cuantificados por ATD-GC-MS, es necesario determinar la repetitividad, linealidad, sensibilidad, límites de detección y cuantificación para evaluar y validar un método analítico (Dewulf y Van Lagenhove, 1999). Por tanto, se estudiaron varias muestras patrón a diferentes concentraciones extraídas del sistema de calibración para muestras de FMD en aire implementado en los laboratorios del grupo FOTOAIR.

#### 2.2.3.1. Curvas de calibrado

Las curvas de calibrado para la cuantificación de los cartuchos Waters con FMD se han realizado por medio de diluciones a partir de una bala de FMD (Air Liquide Alphagaz ≥99,999 % de pureza) de 5 ppm empleando el sistema de calibrado descrito anteriormente. Se han realizado curvas de calibrado cada vez que se han analizado muestras. Estos resultados se observan más adelante, durante el estudio de los valores analíticos en la tabla 2.14.

Se ha trabajado en un rango de concentraciones entre 4 µgml<sup>-1</sup> – 24 µgml<sup>-1</sup>. En la ecuación 2.6 se puede observar la conversión entre ppbv los µg retenidos en el tubo y los µgml<sup>-1</sup> en la solución de extracción para el punto más bajo de los calibrados.

$$\begin{aligned} \frac{0,5 \text{ ml FMD}}{10^6 \text{ ml aire}} \times \frac{500 \text{ ml aire}}{1 \text{ min}} \times 60 \text{ min} \times \frac{1 \text{ mol}}{22400 \text{ ml FMD}} \times 30 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \\ = 20,08 \mu\text{g FMD acumulados en el tubo} \rightarrow \frac{20,08 \mu\text{g}}{5 \text{ ml acetoniitrilo}} \\ = 4,016 \frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \quad \text{Ec. 2.6} \end{aligned}$$

Siguiendo el procedimiento de la MTA/MA-062/A08 del INSHT, se han inyectado 20 µl del extracto obtenido en cada cartucho Waters para cada punto del calibrado con microjeringa (Hamilton Reno, NV, USA) realizándose los análisis por duplicado mediante cromatografía de líquidos.

#### 2.2.3.2. Parámetros analíticos

Puesto que sus conceptos se han definido en los apartados de VOCs determinados por ATD-GC-MS descritos al principio del capítulo, en este caso tan sólo se mostrarán y comentarán los resultados obtenidos.

##### Repetitividad

Se encuentra definida por el coeficiente de variación (CV) y sus resultados se observan en la tabla 2.9.



**Tabla 2.9: Coeficientes de variación (CV) obtenidos en los calibrados del sistema de calibración de FMD para las concentraciones de 1-5 donde 1 es la de menor concentración y 5 la de mayor concentración.**

CV (%) Primavera						CV (%) Verano				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>FMD</b>	4,778	4,769	1,834	11,433	5,619	2,471	2,471	2,471	2,471	2,471
CV (%) Otoño						CV (%) Invierno				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>FMD</b>	5,188	5,188	6,310	13,204	6,310	4,208	3,804	3,804	3,804	3,804

Los resultados han mostrado una óptima repetitividad para la cuantificación de FMD. El 90 % de los valores obtenidos en los coeficientes de variación son menores al 10 %. Los valores de CV superiores coinciden en el mismo rango de concentración. Este hecho muestra probablemente un fallo en el sistema de calibración o en la manipulación del cartucho. Hay que tener en cuenta que las condiciones de los controladores de flujo másico, las presiones y las regulaciones de los caudales para las diluciones, así como las etapas de extracción además del detector y el adsorbente, juegan un papel determinante en los resultados de repetitividad. Por tanto, es necesario mantener una sistemática en las operaciones de toma de punto de calibrado en el cartucho y su extracción para aumentar su sensibilidad.

### Linealidad

Cuando hablamos de calidad de aire interior para la determinación de FMD trabajamos en rangos de concentraciones de 0,1 mg/m<sup>3</sup> para una toma de muestra de 30 min en el ambiente estudiado de aire interior (INSHT, 2001). Por tanto, es necesario verificar la linealidad del método en un amplio rango de concentraciones.

Para ello, se ha obtenido el área media de los ensayos repetidos para cada compuesto y dilución y se ha representado frente a su concentración. Los puntos se han ajustado mediante mínimos cuadrados, obteniéndose una recta de ajuste del tipo:

$$\text{Respuesta (Área)} = a [\mu\text{g de FMD en el cartucho}] + b; \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde  $a$  es la pendiente de la recta y  $b$  es el valor de intersección del eje de ordenadas cuando el valor del eje de abscisas es nulo. En este caso,  $b$  es igual a cero al obligar a cada recta a pasar por el punto (0,0), quedando la Ec. 2.7 de la siguiente forma:

$$\text{Respuesta (Área)} = a [\mu\text{g de FMD en el cartucho}]; \quad \text{Ec. 2.8}$$

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.10, junto con los coeficientes de determinación ( $R^2$ ).

**Tabla 2.10: Linealidad de la respuesta de cromatografía de líquidos para los calibrados de FMD mediante el empleo del sistema de calibración de FMD y el uso de cartucho Waters.**

Primavera			Verano	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
<b>FMD</b>	3,573	0,9813	2,977	0,9923
Otoño			Invierno	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
<b>FMD</b>	4,3726	0,9922	3,2423	0,9764

Los resultados muestran un comportamiento lineal en el intervalo de concentraciones estudiado para el FMD.

### **Sensibilidad**

Se define como la variación que experimenta una señal analítica por unidad de concentración. Si el equipo posee una respuesta lineal, el valor de la sensibilidad viene dado por la pendiente de la recta de calibrado (IUPAC, 1990).

Por tanto, al igual que para el equipo de GC-MS, el cromatógrafo de líquidos con detector de UV-Vis en el rango de concentraciones estudiado, posee una respuesta lineal al cambio de concentración y masa, por lo cual es posible utilizar los valores de las pendientes de las rectas de calibrado para el estudio de la sensibilidad.

### **Límite de detección y de cuantificación**

Los límites de detección y cuantificación han sido definidos en apartados anteriores y se calculan por medio de las Ec. 2.4 y Ec. 2.6 respectivamente.

La tabla 2.11 muestra los resultados obtenidos para la determinación de FMD en aire.

**Tabla 2.11: Límites de detección (LD) y de cuantificación (LQ) para los calibrados de FMD.**

	Primavera		Verano	
(µg de FMD retenidos en el cartucho)	LD	LC	LD	LC
<b>FMD</b>	1,411	14,112	0,846	8,458
(µg/ml de FMD extraídos del cartucho)	LD	LC	LD	LC
<b>FMD</b>	0,282	2,822	0,169	1,692
	Otoño		Invierno	
(µg de FMD retenidos en el cartucho)	LD	LC	LD	LC
<b>FMD</b>	1,855	18,555	1,233	12,325
(µg/ml de FMD extraídos del cartucho)	LD	LC	LD	LC
<b>FMD</b>	0,371	3,710	0,246	2,466

# CAPÍTULO 3 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AIRE DE LOS DISTINTOS AMBIENTES DEL MAN

El edificio del siglo XIX que alberga el Museo Arqueológico Nacional (MAN), ubicado en el centro de Madrid, ha sido remodelado entre 2008 y 2014. Esto ha supuesto una gran oportunidad para poder evaluar la evolución de los nuevos contaminantes de origen químico existentes en el ambiente interior provenientes de los nuevos materiales, durante la reforma y desde su apertura en abril de 2014 hasta finales de 2017. En esta remodelación han sido introducidas también las vitrinas herméticas, juegan un papel fundamental en relación con las obras expuestas.

Se han determinado y cuantificado cincuenta VOCs para un amplio número de puntos de muestreo que han incluido ambientes exteriores, ambientes interiores del museo y ambientes del interior de las nuevas vitrinas. Los muestreos se han realizado desde inicios de 2014 hasta finales de 2017. Las muestras de aire han sido recolectadas tanto en modo activo como pasivo sobre tubos absorbentes para la mayoría de los compuestos.

Se ha empleado la razón  $I/O > 1$  según nomenclatura inglesa (Inside/Outside) o Interior/Exterior en español, para identificar las abundancias de cada especie o especies estudiadas en relación con las existentes en el espacio exterior de la vitrina o de la sala pudiéndose comparar vitrina/sala y sala/exterior. Con ello, se puede determinar que emisiones, interiores o exteriores, son las predominantes en los diversos ambientes objeto de estudio.

## 3.1. Aire exterior. Resultados del periodo 2014-2017

Como puntos de toma de muestra del ambiente exterior se han seleccionado dos puntos en el exterior del museo: uno ubicado en la puerta principal con la calle Serrano y otro con una diferencia de altura de 22 m en la azotea. Estos datos han servido como valores de referencia a la hora de evaluar la calidad de aire interior del edificio en comparación con los determinados en el interior.

Como se observa en la figura 3.1, el punto a pie de calle (S) se ha tomado a las puertas de entrada en el recinto del museo justo en la calle Serrano, mientras que el punto de la azotea (A) se ha localizado en la parte más elevada del museo, orientado a la calle de la Armada Española con Plaza de Colón, y zona donde se ubican parte de los sistemas de climatización del museo y tomas de aire exterior.

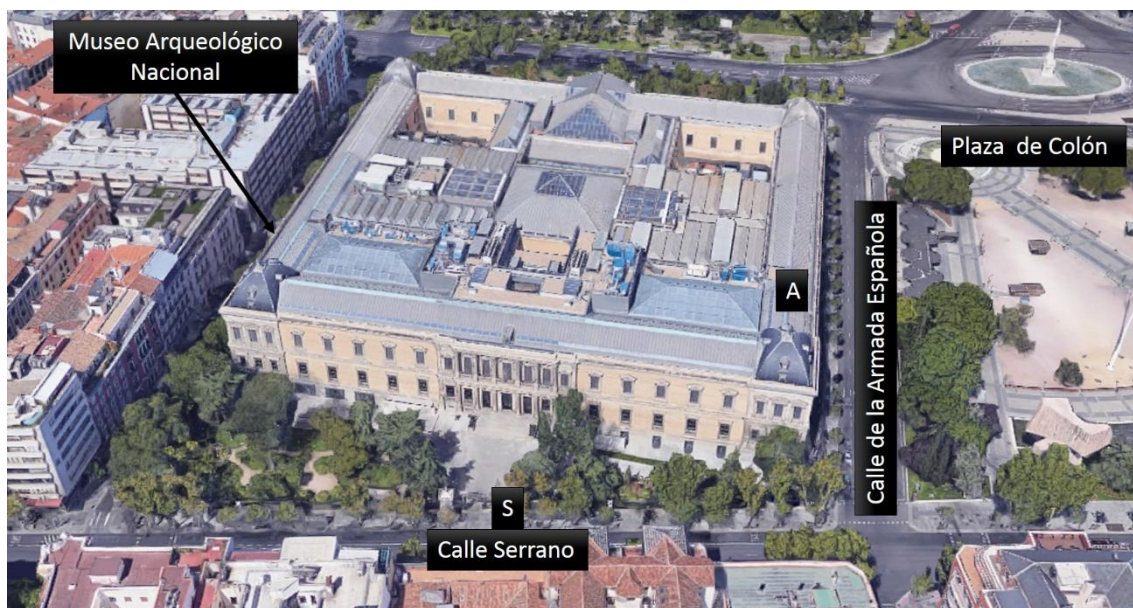


Figura 3.1: Extraída de <https://www.google.es/maps> muestra la localización de la toma de muestra de aire exterior, donde S es el punto a pie de calle y A el punto en la azotea del museo.

### 3.1.1. Estadística descriptiva

En la tabla 3.1 se muestran, para cada uno de los VOCs cuantificados, los siguientes estadísticos: el número de muestras analizadas (N), el promedio (media), la desviación estándar (SD), la mediana, el valor mínimo (min.) y el máximo (max.).

Los datos representados en la tabla 3.1 indican de forma global los resultados obtenidos para los dos puntos de muestreo tomados en el exterior del MAN.

Los VOCs mayoritarios en ambos puntos han sido BTX-aromáticos y el 2,2,4-trimetilpentano, todos ellos VOCs propios de entornos urbanos y asociados al tráfico rodado.

Tabla 3.1: Estadística descriptiva del periodo de medidas en aire exterior mediante ATD-GC-MS: marzo 2014-diciembre 2017.

Compuesto	Exteriores MAN					
	N	Media ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Mediana ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Benceno	64	2,13	3,37	1,33	< LD	15,47
2,2,4-Trimetilpentano	64	7,08	36,72	0,39	< LD	179,98
<i>n</i> -Heptano	64	0,47	0,48	0,46	< LD	2,08
1,2-Propanodiol	64	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Tolueno	64	4,02	4,56	3,08	< LD	24,58
<i>n</i> -Octano	64	< LC	< LC	< LD	< LD	2,31
Hexanal	64	0,52	1,26	< LD	< LD	6,06
2-Butanona-oxima	64	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Tetracloroetileno	64	0,40	0,58	0,30	< LD	3,37
Hexametildiclotrisiloxano	64	3,66	18,11	0,92	< LD	137,32
Etilbenceno	64	0,94	2,57	< LD	< LD	19,28
<i>o</i> -Xileno	64	1,22	2,52	0,85	< LD	18,65
1-Metoxi-2-propilacetato	64	< LD	< LD	< LD	< LD	1,00

<i>m,p</i> -Xileno	64	0,89	2,97	0,43	< LD	22,37
Nonano	64	0,14	0,19	< LC	< LD	1,17
Cumeno	64	< LC	0,29	< LD	< LD	2,05
$\alpha$ -Pineno	64	0,23	0,43	< LC	< LD	2,46
<i>n</i> -Propilbenceno	64	< LD	0,25	< LD	< LD	1,32
Benzaldehído	64	< LD	< LD	< LD	< LD	1,99
3-Etiltolueno	64	0,39	0,71	< LC	< LD	4,07
Mesitileno	64	< LC	0,34	< LC	< LD	1,93
1,2,4-trimetilbenceno	64	< LC	0,84	< LC	< LD	5,51
<i>n</i> -Decano	64	0,33	0,70	< LD	< LD	4,74
Octametilciclotetrasiloxano	64	< LD	< LD	< LD	< LD	3,28
1,2,3-Trimetilbenceno	64	< LC	0,21	< LC	< LD	1,37
Cimeno	64	< LD	< LC	< LD	< LD	< LD
Limoneno	64	0,23	0,68	0,08	< LD	4,84
<i>n</i> -Butilbenceno	64	< LD	0,06	< LD	< LD	0,38
Acetofenona	64	< LD	0,37	< LD	< LD	1,75
4-Etil- <i>m,p</i> -Xileno	64	< LD	< LD	< LD	< LD	< LC
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	64	< LD	< LD	< LD	< LD	0,31
2-Butoxietilacetato	64	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
<i>n</i> -Undecano	64	< LC	< LC	< LD	< LD	0,66
Nonanal	64	< LD	< LD	< LD	< LD	1,14
Alcanfor	64	< LD	< LD	< LD	< LD	0,02
Decametilciclopentasiloxano	64	1,16	1,53	< LD	< LD	8,43
$\beta$ -Terpineol	64	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
$\alpha$ -Terpineol	64	< LD	0,01	< LD	< LD	< LD
Decanal	64	< LD	0,07	< LD	< LD	0,45
Isobornilacetato	64	< LD	< LD	< LD	< LD	< LC
Dodecametilciclohexasiloxano	64	< LD	1,42	< LD	< LD	10,17
Ácido Undecanoico	64	0,91	4,86	< LD	< LD	34,60
2-Fenilbutiramida	64	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Diisobutilftalato	64	< LD	< LD	< LD	< LD	< LC

Los 7 compuestos mayoritarios en orden decreciente han sido: 2,2,4-trimetilpentano, tolueno, hexametilciclotrisiloxano, benceno, *o*-Xileno, decametilciclopentasiloxano y etilbenceno. Por tanto, los compuestos mayoritarios encontrados en aire exterior han sido aromáticos, como es habitual en zonas urbanas de países desarrollados (Chan *et al.*, 2002; Durana *et al.*, 2006). El rango de concentraciones encontradas corresponde con los órdenes de magnitud descritos por otros autores para caracterización de ambientes similares (Parra *et al.*, 2009; Ohura *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2008; Bari *et al.*, 2015 y Do *et al.*, 2014). Algunos ejemplos se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Comparativa de valores obtenidos en el MAN con los obtenidos en diferentes localidades citadas en la bibliografía para cuatro contaminantes comunes en ambiente exterior.

	$\bar{x}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Madrid	$\bar{x}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Pamplona	$\bar{x}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Bélgica (Do	$\bar{x}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Canadá	$\bar{x}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Japón
--	--	--	---	--	---

	(FOTOAIR)	(Parra <i>et al.</i> , 2009)	<i>et al.</i> , 2014)	(Bari <i>et al.</i> , 2015)	(Ohura <i>et al.</i> , 2009)
<b>Benceno</b>	2,13	2,02	1,75	1,40	1,02
<b>Tolueno</b>	4,02	6,41	3,44	6,85	6,61
<b>Etilbenceno</b>	0,94	1,03	0,50	1,19	0,96
<b>m/p-Xyleno</b>	0,89	1,24	1,50	3,50	0,90

Sin embargo, pese a que las desviaciones estándar han mostrado valores del orden del promedio de la serie de datos, es decir, valores entre 0,5 y 2 veces la concentración promedio de cada compuesto, hay que destacar que dos de los compuestos mayoritarios cuantificados (2,2,4-trimetilpentano o *iso*-octano y hexametilcyclotrisiloxano) han presentado una desviación estándar considerablemente mayor que sus valores promedio, por lo que su variabilidad ha resultado alta. Esto indica que su valor ha correspondido con medidas puntuales cuyas concentraciones han sido más elevadas de lo habitual, debido a los episodios de alta contaminación sufridos en la Comunidad de Madrid.

Se ha observado en todos los casos que el valor de la mediana ha sido menor al valor promedio por lo que nos encontramos ante una distribución sesgada, lo cual es habitual tras varios meses de medida (Alonso *et al.*, 1999).

Los valores mínimos obtenidos para la mayoría de los compuestos se han encontrado casi siempre por debajo del límite de detección. Aquellos que se encuentran con valores mínimos por encima de dicho límite suelen corresponder con aquellos que presentan valores promedio máximos.

Los valores máximos han correspondido con los VOCs de mayores concentraciones promedio. También cabe destacar que otros compuestos que no se han encontrado entre los 7 compuestos mayoritarios también han mostrado valores máximos elevados; estos compuestos en su mayoría han sido el resto de los pertenecientes a la familia de los BTX-aromáticos.

### 3.1.2. Promedios mensuales

Se han calculado los valores promedio mensuales durante el periodo de medidas, para observar la variación estacional de los compuestos analizados. Los datos han mostrado que los compuestos mayoritarios en aire exterior han sido los BTX-aromáticos, ya que han alcanzado valores promedio más elevados y con mayor constancia a lo largo del año.

En el caso de los BTX-aromáticos (figura 3.2 a 3.7) se ha observado que las concentraciones promedio son mayores a pie de calle en comparación con las que se han obtenido en la azotea, lo cual ha sido coherente con la proximidad del tráfico rodado en el punto de toma de muestra S.

También se ha reflejado que en el punto de toma de muestra A se han obtenido los mayores valores promedio para las estaciones de verano y otoño, mientras que para el punto de toma de muestra S se han dado en primavera, verano y otoño.

Si bien habitualmente en las zonas urbanas, las concentraciones de VOCs en los meses de verano son menores, principalmente debido a que en invierno la altura de la capa de mezcla disminuye y los VOCs reaccionan con mayor facilidad con los radicales hidroxilo, cuya concentración es mayor en invierno (Brocco *et al.*, 1997; Kuntasal *et al.*, 2003), en este caso esta disminución no se ha dado, lo cual ha sugerido, como corroboran algunos autores (Borbon



*et al.*, 2002), que la evaporación de disolventes y combustibles puede ser una fuente importante de estos compuestos en los meses de verano.

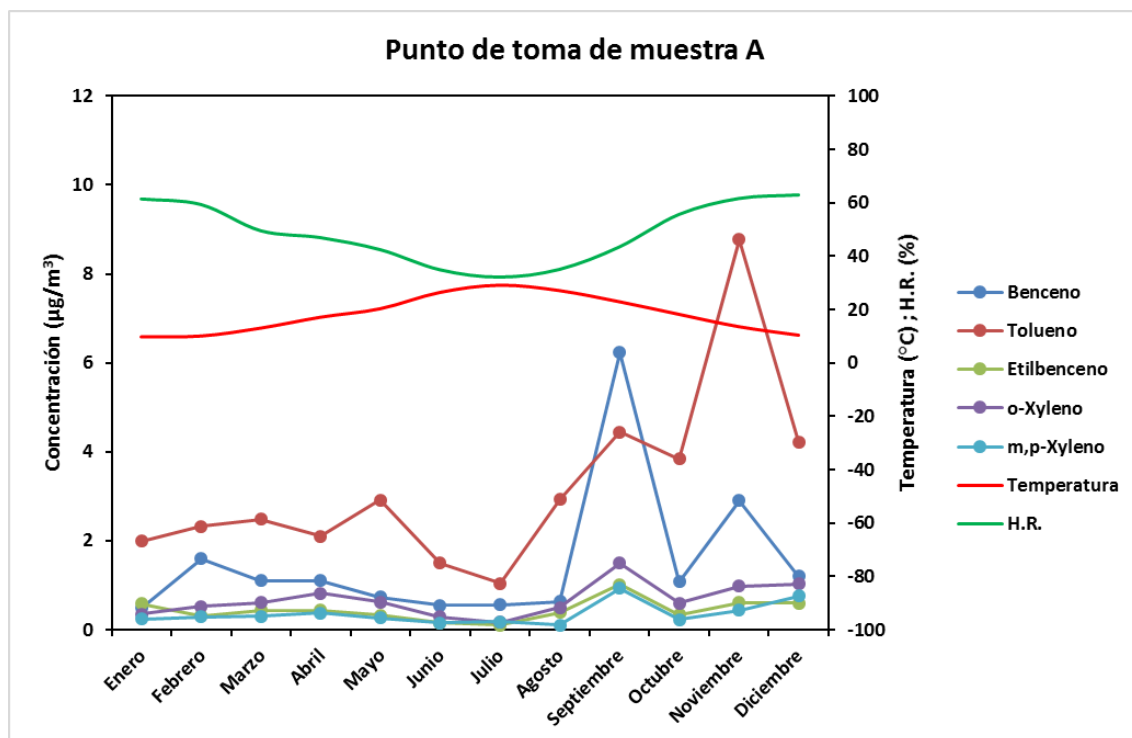


Figura 3.2: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas en la azotea del MAN durante el periodo 2014-2017 para benceno, tolueno, etilbenceno y o,m,p-Xyleno.

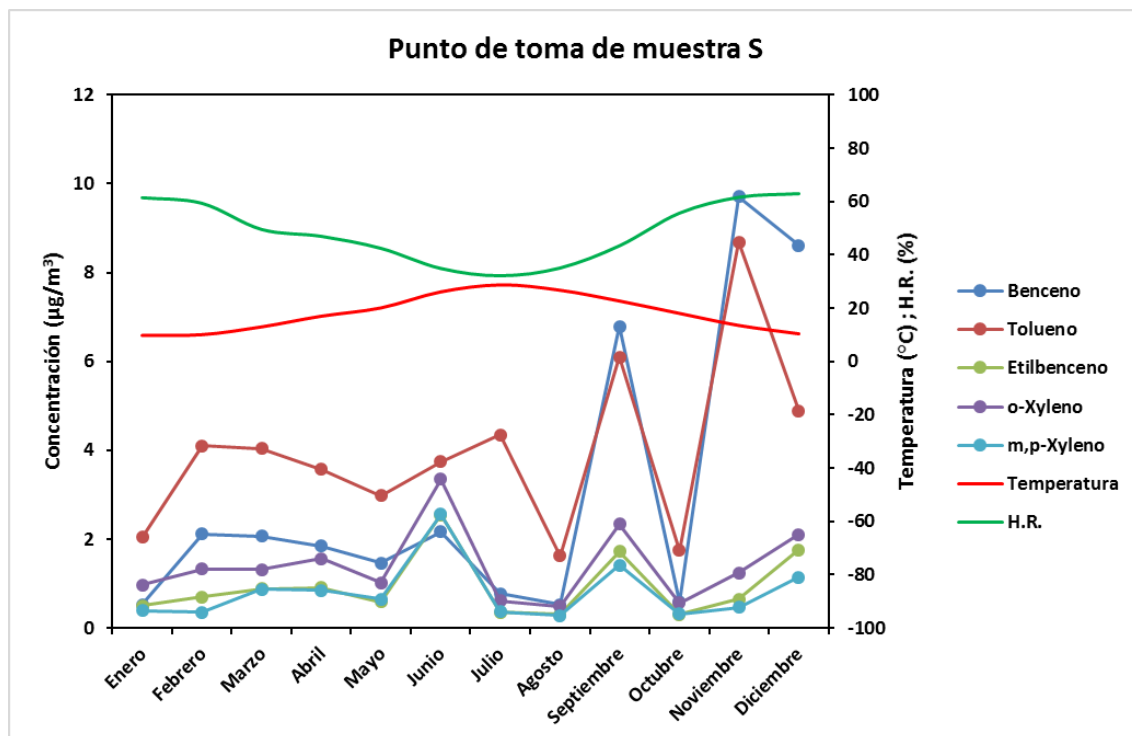


Figura 3.3: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas a pie de calle (calle Serrano) del MAN durante el periodo 2014-2017 para benceno, tolueno, etilbenceno y o,m,p-Xyleno.



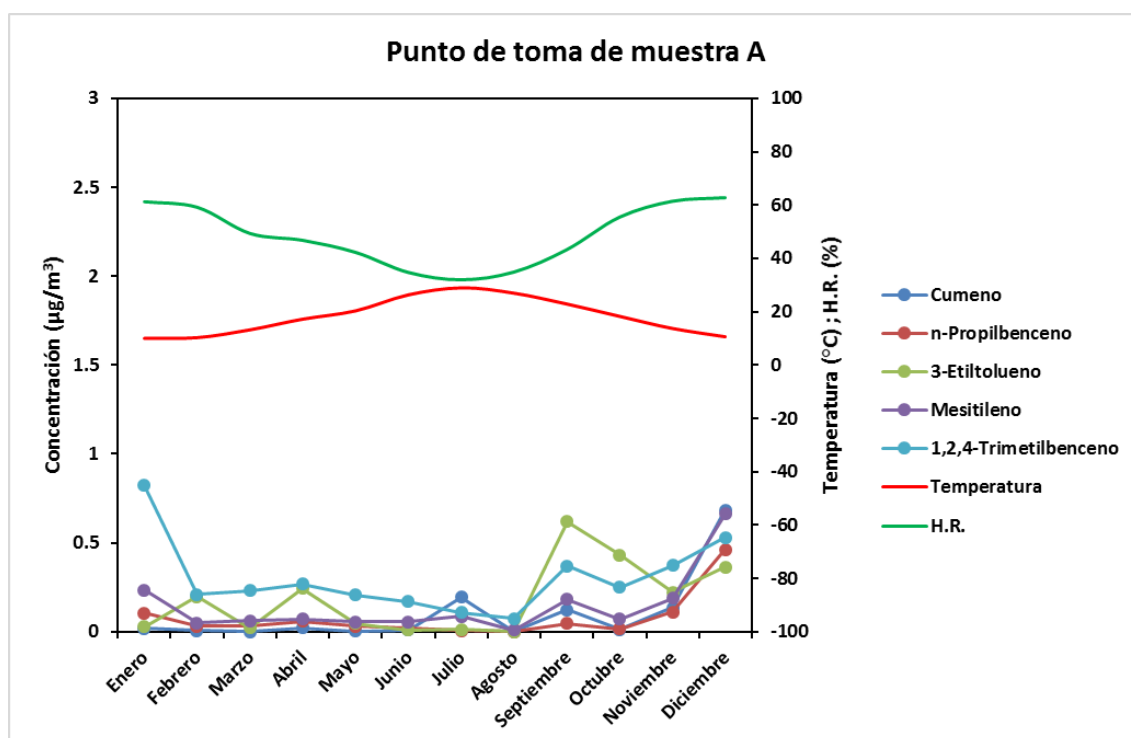


Figura 3.4: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas en la azotea del MAN durante el periodo 2014-2017 para cumeno, *n*-propilbenceno, 3-etiltolueno, mesitileno y 1,2,4-trimetilbenceno.

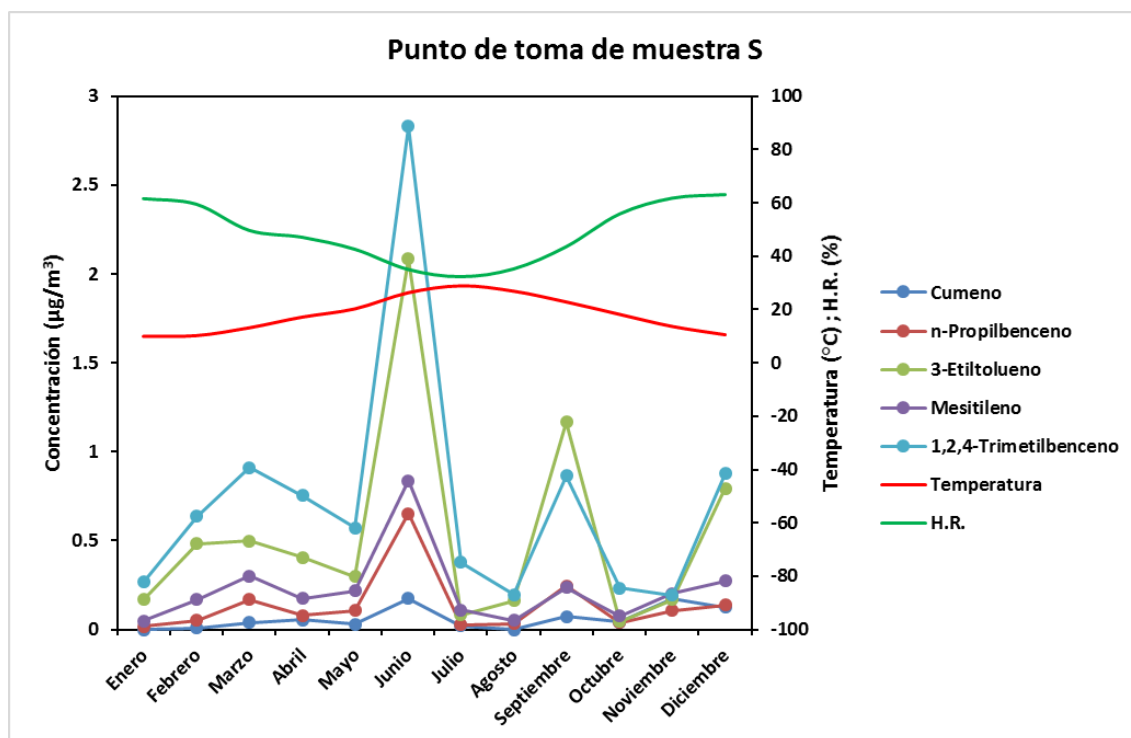


Figura 3.5: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas a pie de calle (calle Serrano) del MAN durante el periodo 2014-2017 para cumeno, *n*-propilbenceno, 3-etiltolueno, mesitileno y 1,2,4-trimetilbenceno.

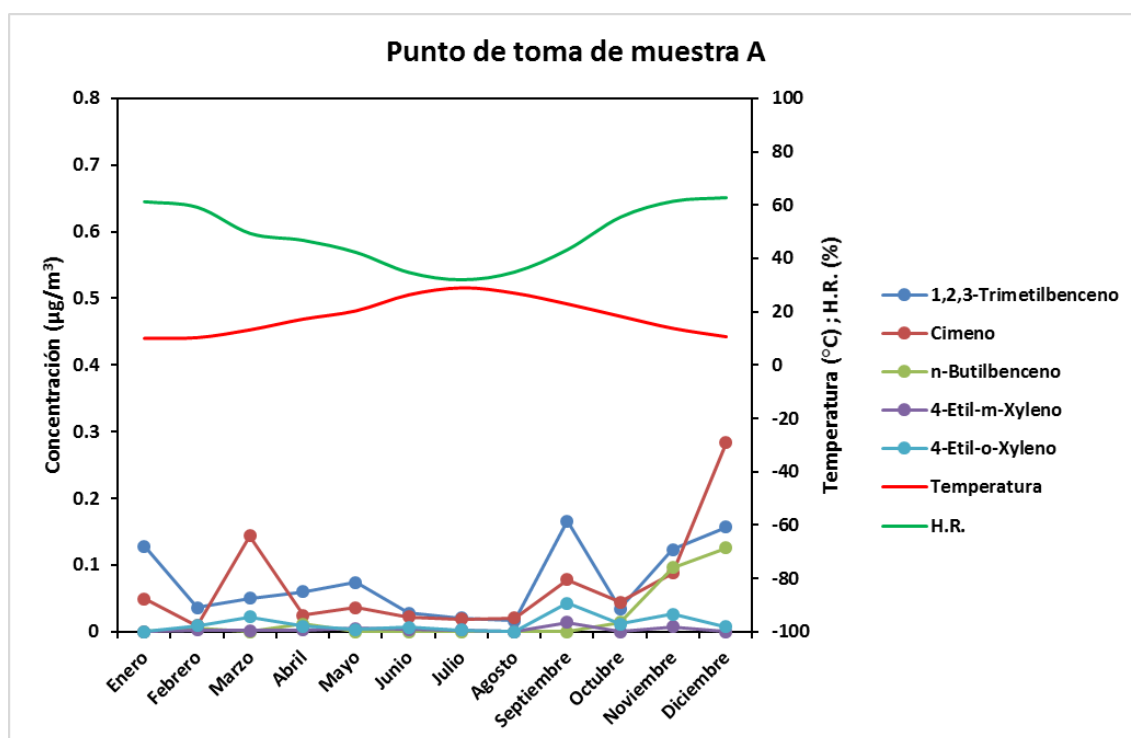


Figura 3.6: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas en la azotea del MAN durante el periodo 2014-2017 para 1,2,3-trimetilbenceno, cimeno, *n*-butilbenceno, 4-etil-*m,p*-Xyleno y 4-etil-*o*-Xyleno.

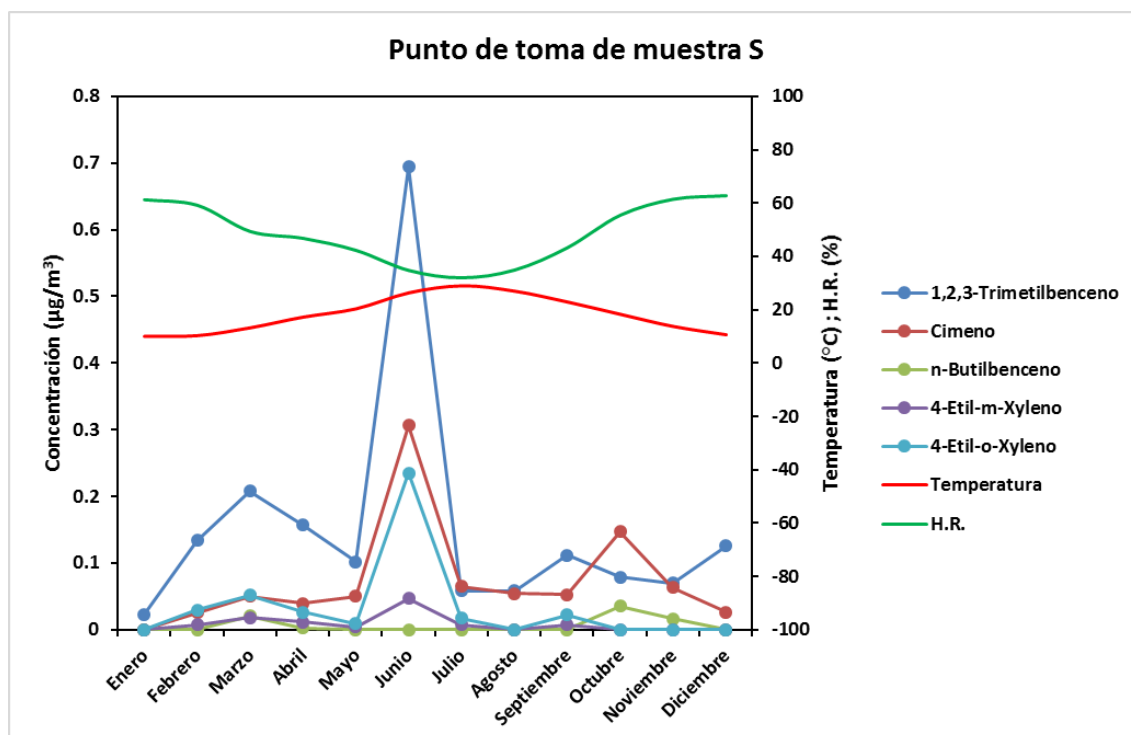


Figura 3.7: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas a pie de calle (calle Serrano) del MAN durante el periodo 2014-2017 para 1,2,3-trimetilbenceno, cimeno, *n*-butilbenceno, 4-etil-*m,p*-Xyleno y 4-etil-*o*-Xyleno.

Los aldehídos y terpenos son compuestos altamente reactivos, cuyas fuentes son propias de los vegetales, ya que estos de manera general emiten aldehídos como el hexanal y el hetanal y algunos terpenos. Como se observa en las figuras 3.8 a 3.11, en aire exterior tan solo el

hexanal ha alcanzado concentraciones promedio superiores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante más de un mes puntual en el punto S. Este hecho ha mostrado como estos compuestos tienden a disiparse más fácilmente en la atmósfera. También se ha observado, al comparar los valores promedio que se han obtenido para el hexanal, el nonanal y el decanal, que, cuanto más ligero es el aldehído, mayores valores promedio alcanza. A mayor número de carbonos, menor volatilidad y menor concentración en aire. Hay que tener en cuenta que el hexanal se emplea como disolvente, y el nonanal y el decanal son propios de compuestos de higiene personal, por lo que será más probable encontrarlos en el aire interior del museo debido a la influencia de los visitantes y el personal.

Cabe destacar el tetracloroetileno como ejemplo de compuesto clorado. Tanto en el punto de toma de muestra A como en el S ha mostrado valores promedio superiores en los meses menos cálidos y una caída de dichos valores en los meses de verano.

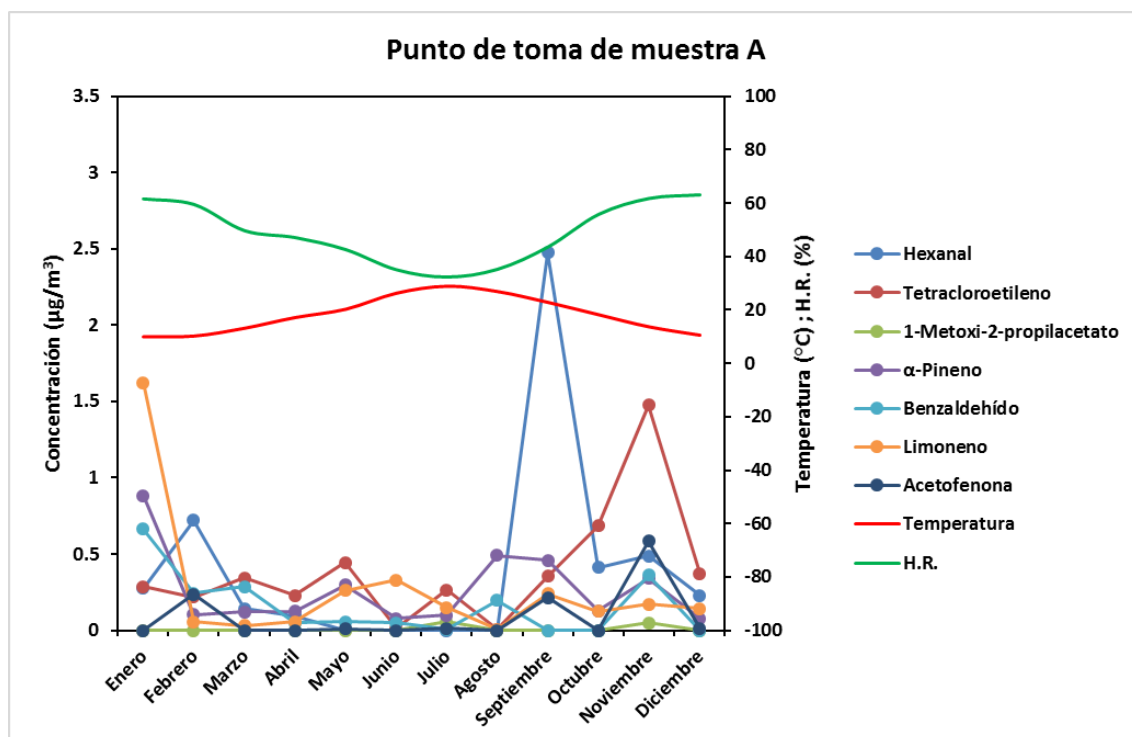


Figura 3.8: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas en la azotea del MAN durante el periodo 2014-2017 para hexanal, tetracloroetileno, 1-metoxi-2-propilacetato,  $\alpha$ -pineno, benzaldehído, limoneno y acetofenona.

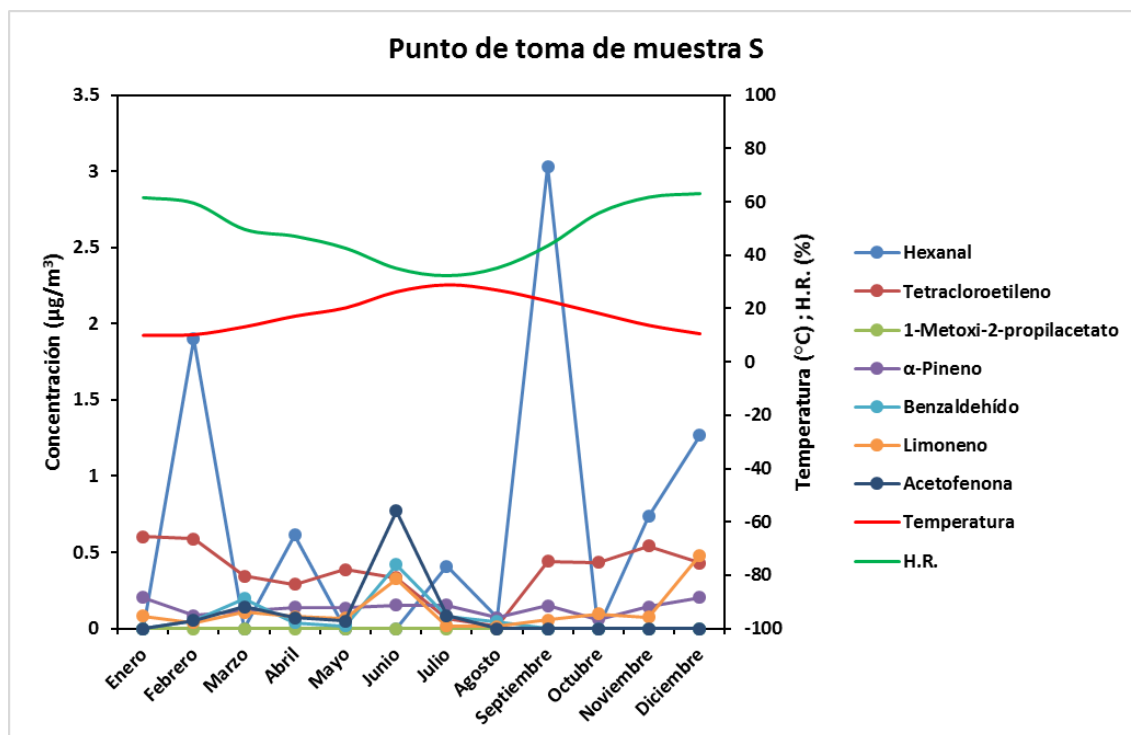


Figura 3.9: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas a pie de calle (calle Serrano) del MAN durante el periodo 2014-2017 para hexanal, tetracloroetileno, 1-metoxi-2-propilacetato,  $\alpha$ -pineno, benzaldehído, limoneno y acetofenona.

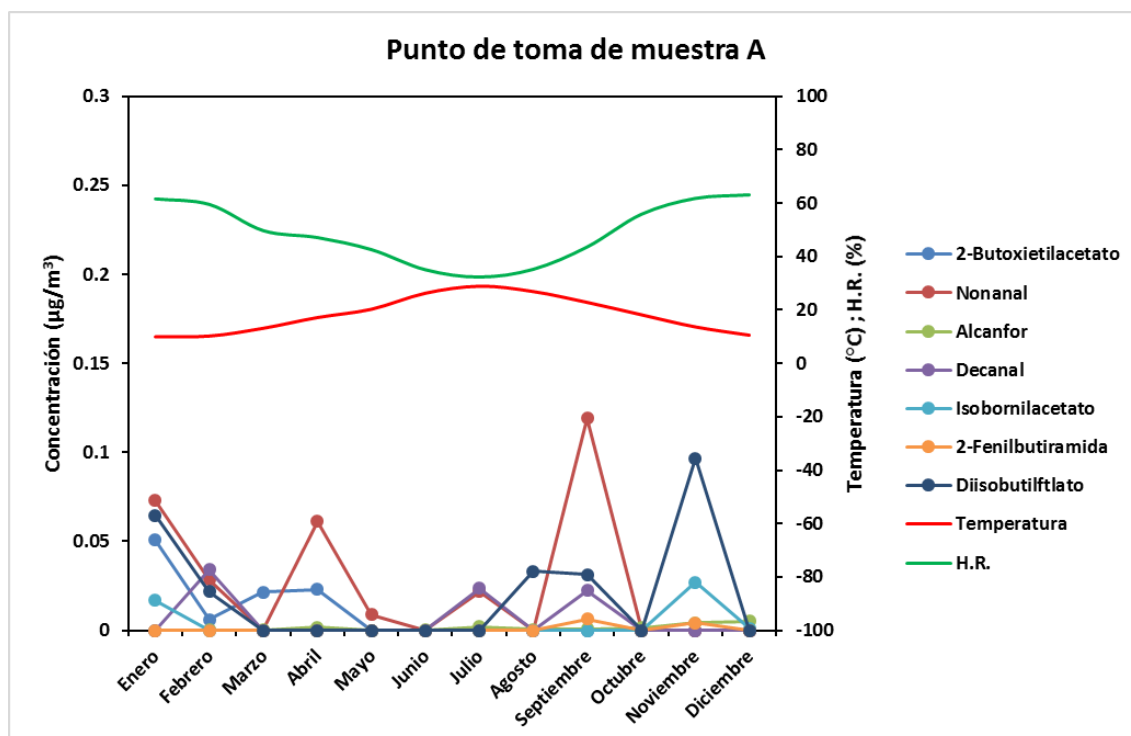


Figura 3.10: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas en la azotea del MAN durante el periodo 2014-2017 para 2-butoxietilacetato, nonanal, alcanfor, decanal, isobornilacetato, 2-fenilbutiramida, diisobutilftalato.

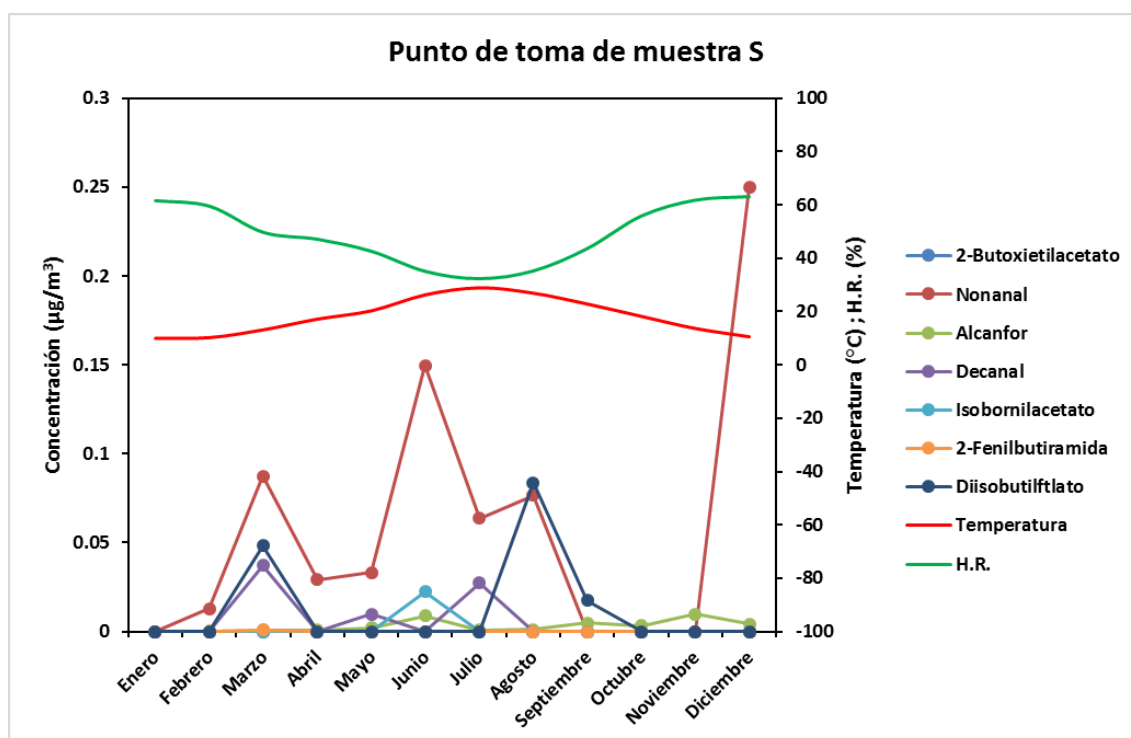


Figura 3.11: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas a pie de calle (calle Serrano) del MAN durante el periodo 2014-2017 para 2-butoxiethylacetato, nonanal, alcanfor, decanal, isobornilacetato, 2-fenilbutiramida, diisobutylftalato.

El 2,2,4-trimetilpentano, es un alcano ligero y ramificado. Se muestra su concentración promedio en las figuras 3.12 y 3.13. Ha presentado concentraciones más elevadas durante los meses de invierno (octubre-marzo) y por debajo del límite de detección en los meses de verano (abril-septiembre). Hay que destacar que la fuente principal de este compuesto son las gasolinas al emplearse para determinar el octanaje de los carburantes (Wuithier, 1971). Y que su alto valor ha coincidido con los episodios de alta contaminación registrados en la Comunidad de Madrid durante el periodo de medidas debido a los excesos de contaminación y la falta de precipitaciones (<http://www.mambiente.munimadrid.es>).

El resto de los alcanos medidos (figuras 3.14 y 3.15) han aumentado sus valores promedio de primavera a otoño, obteniendo los valores más bajos durante el invierno. Se ha observado que la tendencia no es reproducible al comparar los dos puntos de toma de muestras (A y S). En los meses de verano, en el punto más elevado (A) no se han determinado valores promedio tan altos como a pie de calle, lo que de acuerdo con (Oğuz *et al.*, 2003) sugiere que exista una dispersión o reacción en capas altas de la atmósfera.

En las figuras 3.16 y 3.17 observamos los alcoholes cuantificados. Para este trabajo, sus valores promedio han estado por debajo de los límites de detección a lo largo de todo el año. Son compuestos de muy alta volatilidad y polaridad y el Tenax TA® y la columna HP-5MS no son ni el adsorbente ni la columna más adecuados para su determinación en aire. Dada la versatilidad de esta columna y su capacidad de discriminar compuestos considerados inicialmente como más problemáticos en cuanto a prevalencia y toxicidad, se decidió mantener el conjunto de muestreos con esta columna.

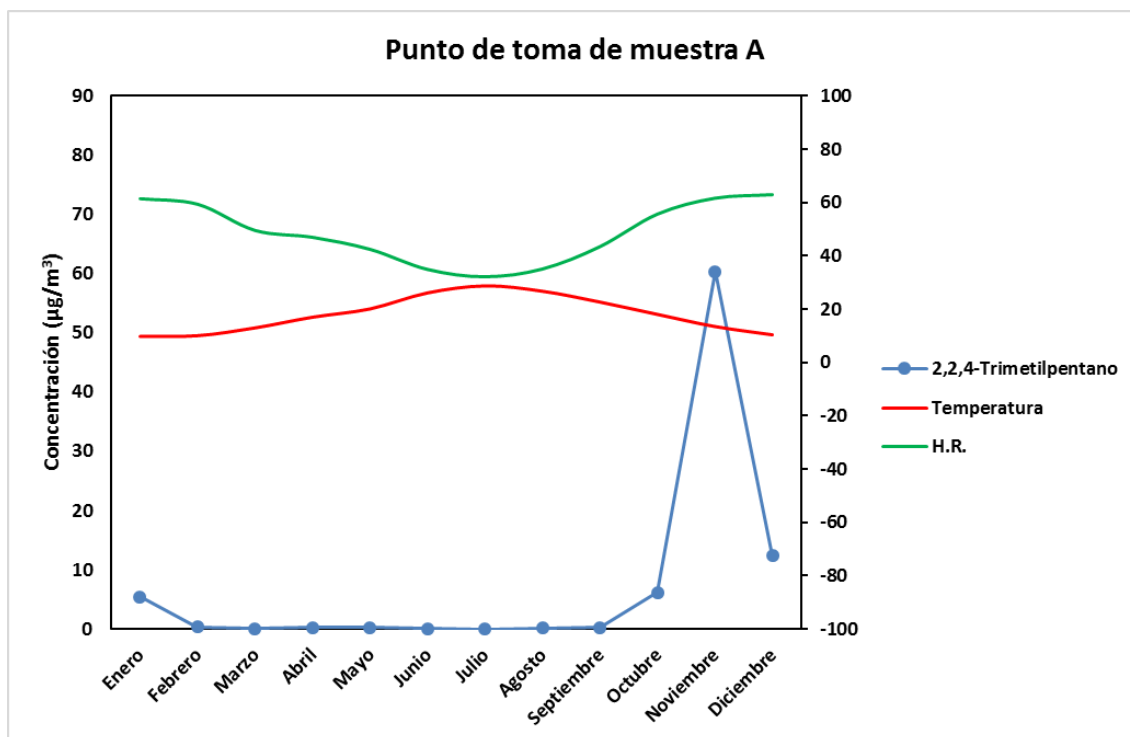


Figura 3.12: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas en la azotea del MAN durante el periodo 2014-2017 para el 2,2,4-trimetilpentano.

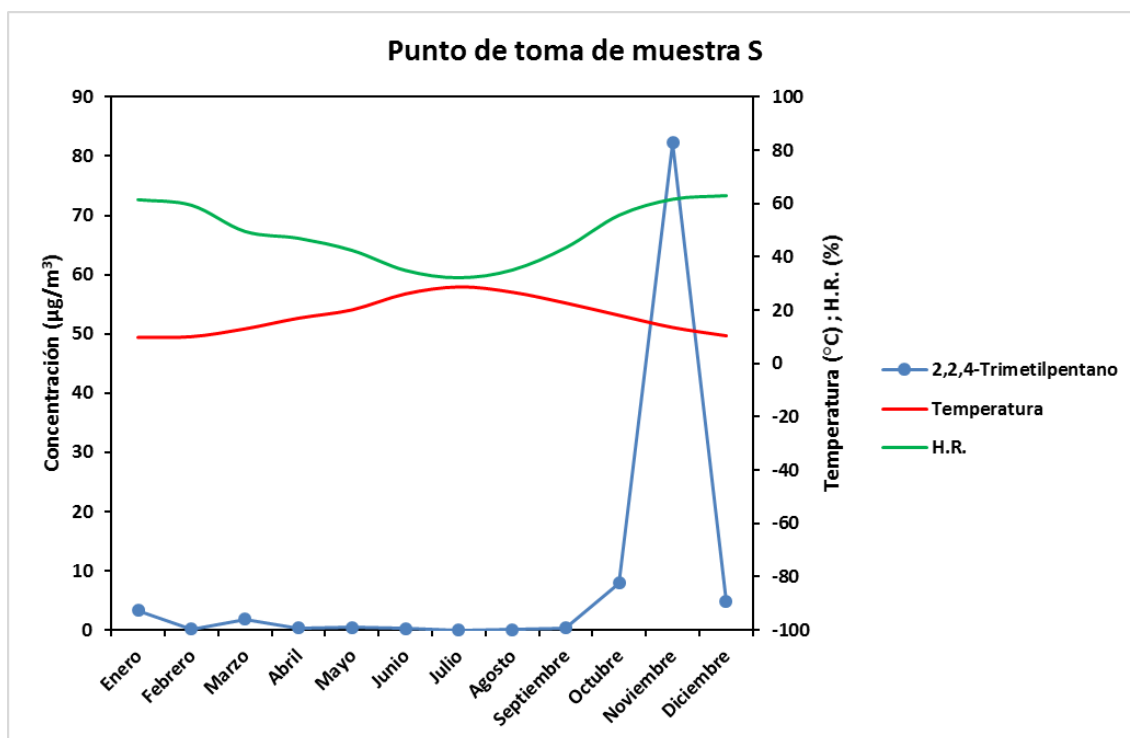


Figura 3.13: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas a pie de calle (calle Serrano) del MAN durante el periodo 2014-2017 para el 2,2,4-trimetilpentano.

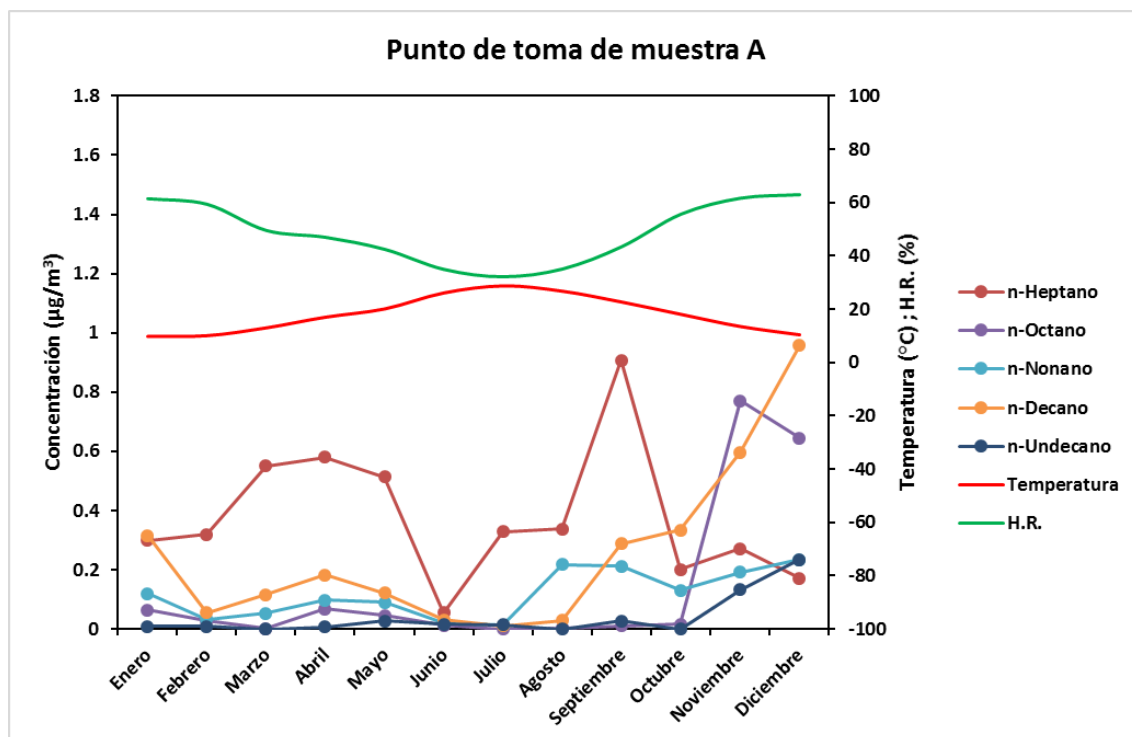


Figura 3.14: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas en la azotea del MAN durante el periodo 2014-2017 para *n*-heptano, *n*-octano, *n*-nonano, *n*-decano y *n*-undecano.

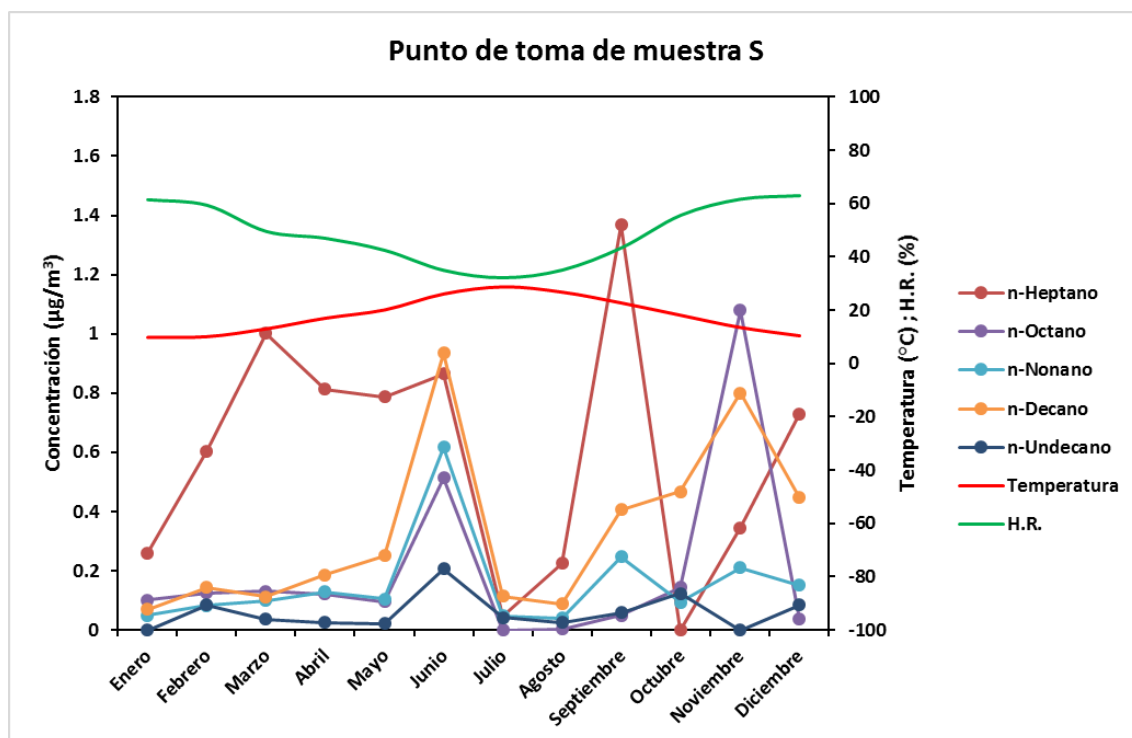


Figura 3.15: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas a pie de calle (calle Serrano) del MAN durante el periodo 2014-2017 para *n*-heptano, *n*-octano, *n*-nonano, *n*-decano y *n*-undecano.



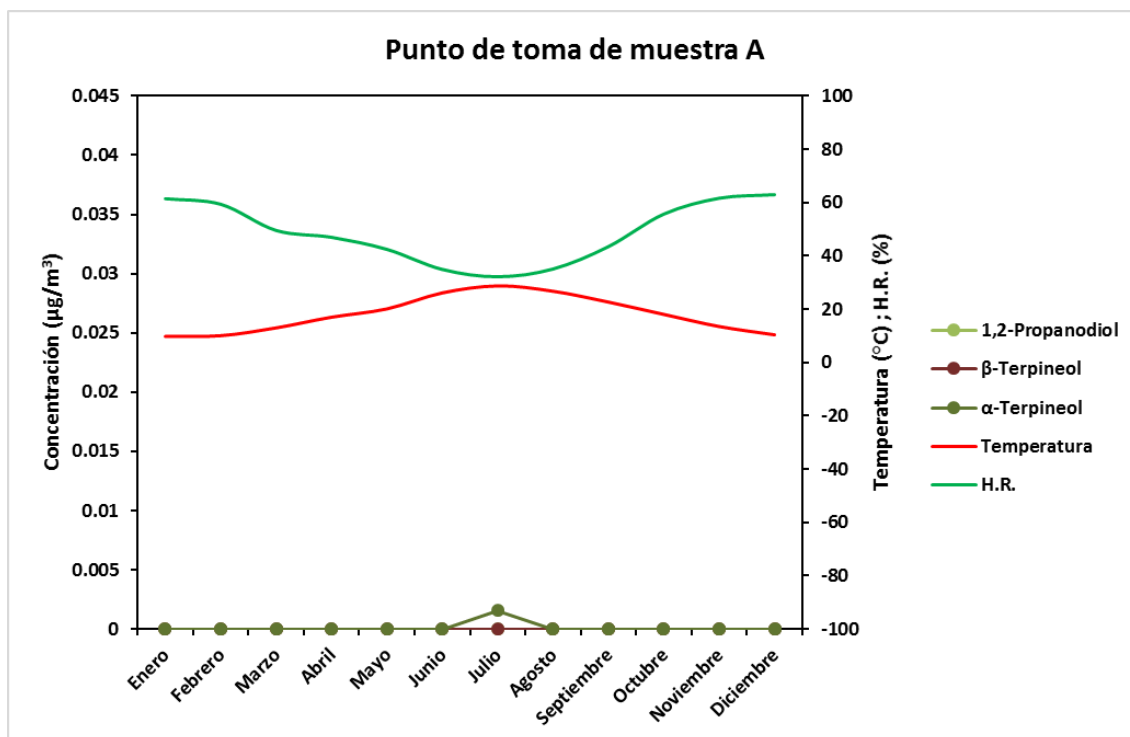


Figura 3.16: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas en la azotea del MAN durante el periodo 2014-2017 para 1,2-propanodiol, β-terpineol y α-terpineol.

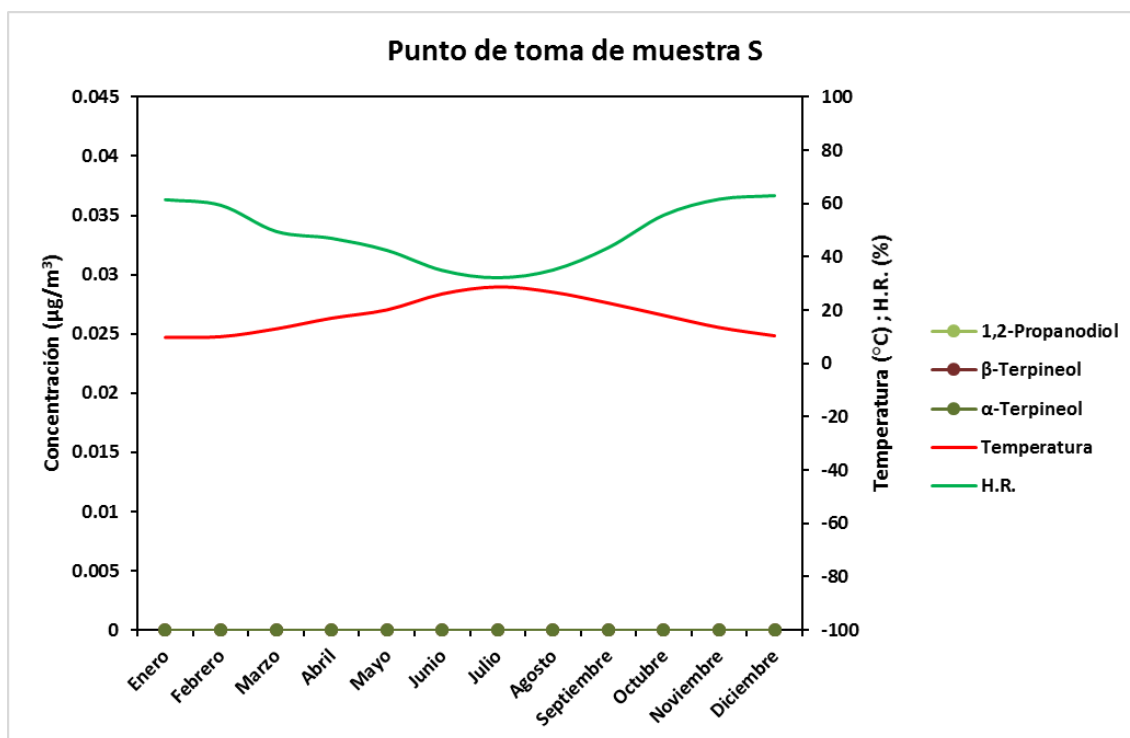


Figura 3.17: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas a pie de calle (calle Serrano) del MAN durante el periodo 2014-2017 para 1,2-propanodiol, β-terpineol y α-terpineol.

Las figuras 3.18 y 3.19 muestran la evolución de los valores promedio de los siloxanos. Los valores promedio han sido superiores a pie de calle (punto de toma de muestra S) y han seguido la misma tendencia en ambos casos. Las concentraciones más elevadas se han observado en estaciones frías y se alcanzan los valores más bajos en los meses cálidos.

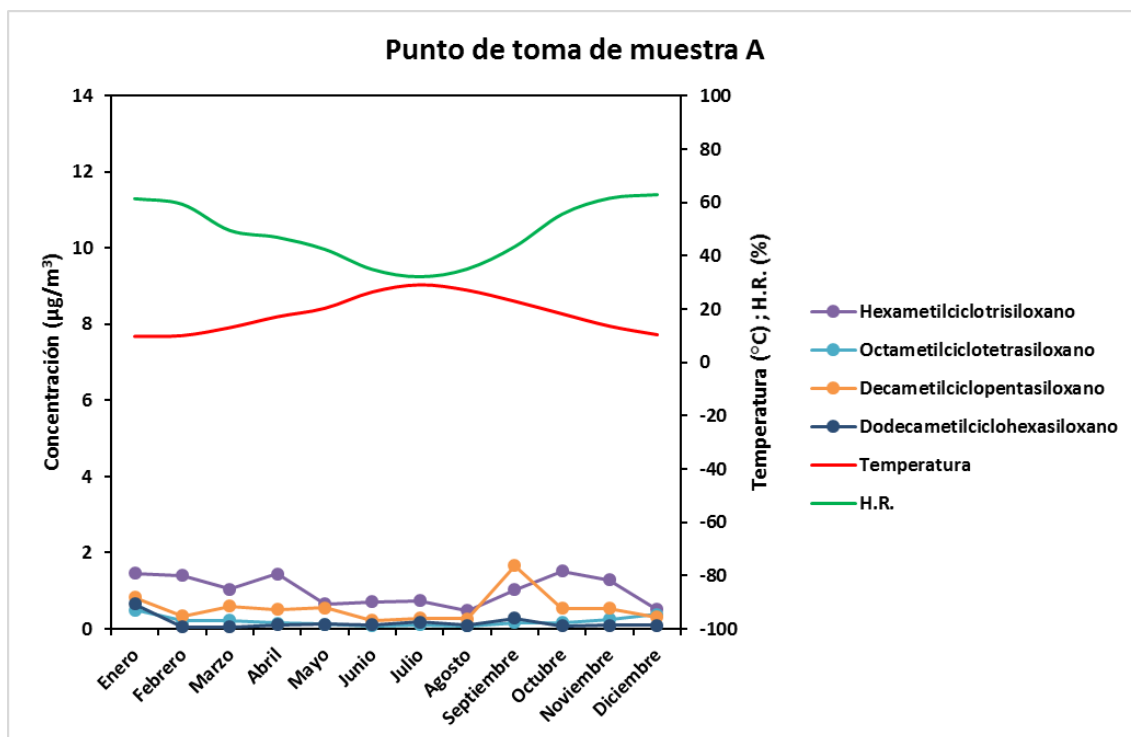


Figura 3.18: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas en la azotea del MAN durante el periodo 2014-2017 para hexametildotetrasiloxano, octametildotetrasiloxano, decametildopentasiloxano, dodecametilciclohexasiloxano.

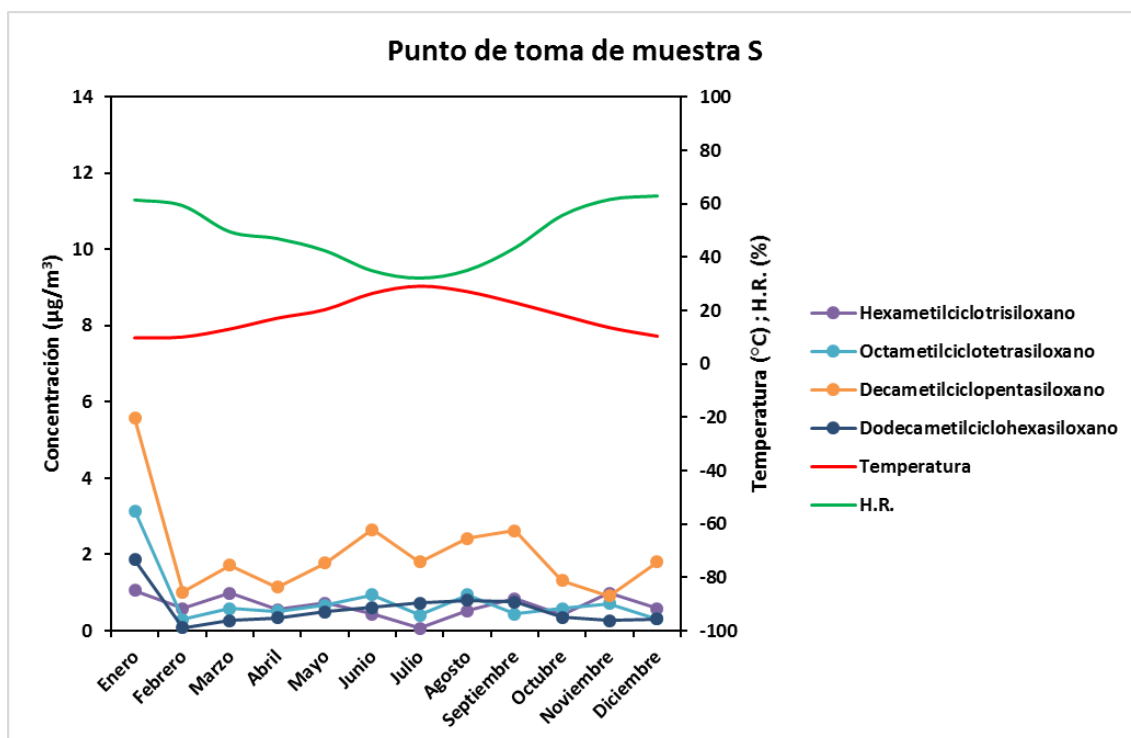


Figura 3.19: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas a pie de calle (calle Serrano) del MAN durante el periodo 2014-2017 para hexametildotetrasiloxano, octametildotetrasiloxano, decametildopentasiloxano, dodecametilciclohexasiloxano.

### 3.2. Aire interior del museo. Resultados del periodo 2014-2017

Para el estudio de la concentración de los diferentes VOCs presentes en el aire interior se han seleccionado cuatro salas diferentes del museo. Dichas salas se observan en la figura 3.20 y son: Protohistoria (primera planta), Medieval, Moderna y Egipto (segunda planta).

La selección de salas se ha hecho de común acuerdo con conservadores y restauradores del Museo Arqueológico pretendiendo cubrir el mayor número posible de materiales de distinta naturaleza contenidos en las salas, como han sido piezas metálicas, cerámicas y orgánicas.

Además de los análisis de VOCs del aire interior del museo, se han realizado estudios del aire interior de una selección de vitrinas ubicadas en dichas salas, cuya descripción se ha expuesto en el apartado 3.3 de este capítulo. Por otro lado, para la caracterización del ambiente del interior de las vitrinas se han añadido medidas de formaldehído y ácidos orgánicos además de las medidas de VOCs, que se discutirán más adelante.



Figura 3.20: Localización en el plano del MAN {modificado a partir del que figura en su web: <http://www.man.es/man/visita/plano-exposicion.html>} añadiendo los puntos de muestreo. Muestra la localización de la toma de muestra del aire interior de cuatro salas distintas del MAN.

### 3.2.1. Estadística descriptiva

En la tabla 3.3 se muestran, para cada uno de los VOCs cuantificados, los siguientes estadísticos: el número de muestras analizadas (N), el promedio (media), la desviación estándar (SD), la mediana, el valor mínimo (min.) y el máximo (max.).

**Tabla 3.3: Estadística descriptiva del periodo de medidas en aire interior del MAN mediante ATD-GC-MS: marzo 2014-diciembre 2017.**

Compuesto	Aire Interior MAN Activos					
	N	Media ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Mediana ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Benceno	180	3,00	9,27	0,77	< LD	82,50
2,2,4-Trimetilpentano	180	3,12	13,33	< LD	< LD	86,02
<i>n</i> -Heptano	180	5,04	9,40	1,88	< LD	80,41
1,2-Propanodiol	180	< LD	0,73	< LD	< LD	6,21
Tolueno	180	5,34	7,31	3,44	< LD	62,55
<i>n</i> -Octano	180	< LC	0,65	< LD	< LD	4,27
Hexanal	180	4,00	7,93	0,78	< LD	65,35
2-Butanona-oxima	180	< LD	< LD	< LD	< LD	5,54
Tetracloroetileno	180	0,33	0,48	0,19	< LD	2,97
Hexametildiclotrisiloxano	180	5,85	7,19	2,97	< LD	41,06
Etilbenceno	180	1,52	3,54	0,69	< LD	27,19
<i>o</i> -Xileno	180	1,50	3,20	0,71	< LD	24,43
1-Metoxi-2-propilacetato	180	1,27	2,17	0,54	< LD	12,38
<i>m,p</i> -Xileno	180	1,05	1,61	0,49	< LD	9,11
Nonano	180	0,14	0,21	< LC	< LD	1,81
Cumeno	180	< LC	0,14	< LD	< LD	1,22
$\alpha$ -Pineno	180	1,90	2,31	1,31	< LD	18,70
<i>n</i> -Propilbenceno	180	0,19	0,21	0,13	< LD	1,41
Benzaldehído	180	< LD	< LD	< LD	< LD	3,66
3-Etiltolueno	180	0,67	0,98	0,35	< LD	6,67
Mesitileno	180	0,37	0,65	0,22	< LD	5,49
1,2,4-trimetilbenceno	180	1,10	1,07	0,88	< LD	7,60
Decano	180	0,58	0,64	0,43	< LD	4,53
Octametildiclotetrasiloxano	180	1,08	1,58	< LD	< LD	13,31
1,2,3-Trimetilbenceno	180	0,32	0,51	0,18	< LD	4,05
Cimeno	180	< LC	< LC	< LC	< LD	1,23
Limoneno	180	1,86	2,43	1,23	< LD	24,46
<i>n</i> -Butilbenceno	180	< LD	< LD	< LD	< LD	1,99
Acetofenona	180	< LD	< LD	< LD	< LD	1,57
4-Etil- <i>m,p</i> -Xileno	180	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	180	0,02	0,05	< LD	< LD	0,34
2-Butoxi-etilacetato	180	< LD	< LC	< LD	< LD	< LD
<i>n</i> -Undecano	180	0,24	0,32	< LC	< LD	1,84
Nonanal	180	< LC	< LC	< LC	< LD	2,15

Alcanfor	180	< LC	< LC	< LD	< LD	0,11
Decametildiclopentasiloxano	180	3,06	3,43	1,81	< LD	26,44
$\beta$ -Terpineol	180	< LD	< LD	< LD	< LD	1,33
$\alpha$ -Terpineol	180	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Decanal	180	< LD	0,25	< LD	< LD	1,18
Isobornilacetato	180	< LD	0,22	< LD	< LD	2,45
Dodecametildiclohexasiloxano	180	< LD	< LC	< LD	< LD	14,15
Ácido Undecanoico	180	< LD	2,40	< LD	< LD	12,85
2-Fenilbutiramida	180	< LC	< LC	< LD	< LD	0,22
Diisobutilftalato	180	< LD	< LD	< LD	< LD	0,56

Los 7 VOCs mayoritarios en orden descendente han sido: hexametildiclotrisiloxano, tolueno, heptano, hexanal, 2,2,4-trimetilpentano, decametildiclopentasiloxano y benceno. A diferencia de lo que se ha observado en aire exterior, en este caso el compuesto mayoritario ha sido un siloxano, seguido de compuestos empleados como disolventes.

Las desviaciones estándar han mostrado valores entre 0,5 y 2 veces el valor promedio, cabe destacar que los compuestos mayoritarios han presentado una alta variabilidad. Ninguno de los compuestos cuantificados se han encontrado de forma continua por encima del límite de detección como han mostrado los valores mínimos obtenidos; mientras que los valores máximos, en general, han correspondido con los valores promedio máximos. Como excepción a esto, se ha observado que el etilbenceno posee un valor máximo superior al decametildiclopentasiloxano y, sin embargo, su valor promedio no ha quedado dentro de los VOCs mayoritarios.

Los valores de la mediana han sido menores que los valores del promedio lo cual ha indicado una distribución sesgada de los datos.

### 3.2.2. Promedios mensuales

Se han calculado los valores promedio mensuales durante el periodo de medidas para observar la variación estacional de los compuestos medidos. Debido al alto volumen de datos obtenidos, (se pueden consultar completos en el anexo III), se han seleccionado para su representación gráfica los dos compuestos con mayor valor medio de cada familia de VOCs analizada y se ha representado su promedio mensual para cada una de las salas (figuras 3.21 a 3.28).

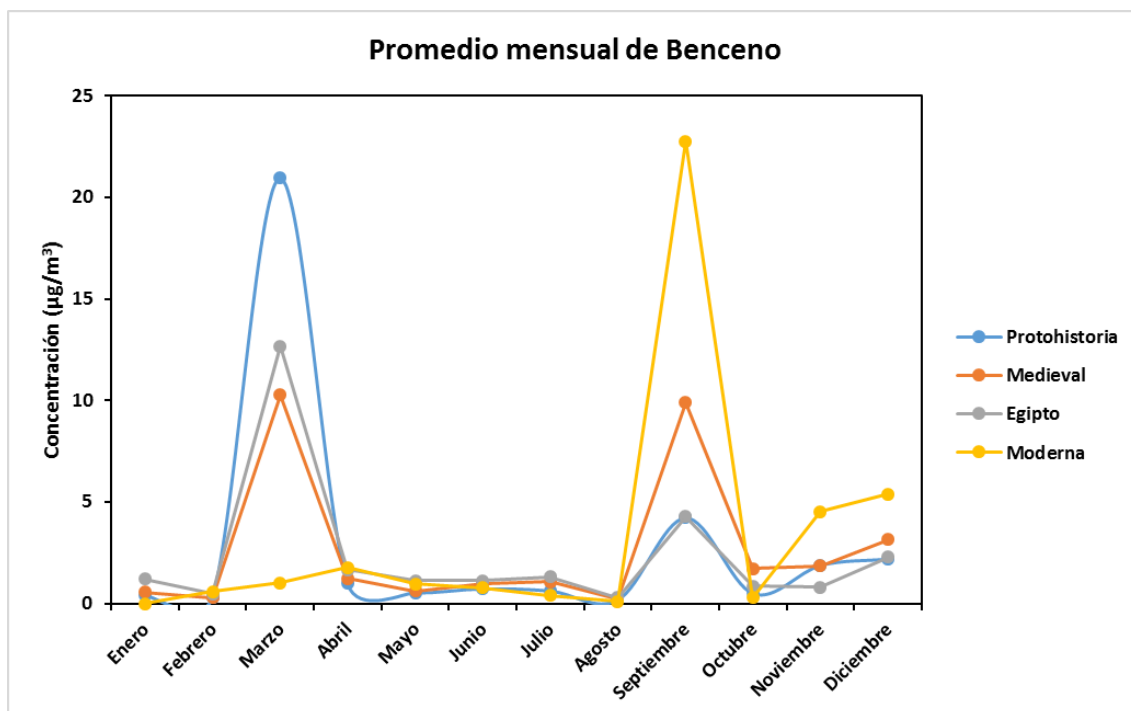


Figura 3.21: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas del aire interior del MAN durante el periodo 2014-2017 para el benceno.

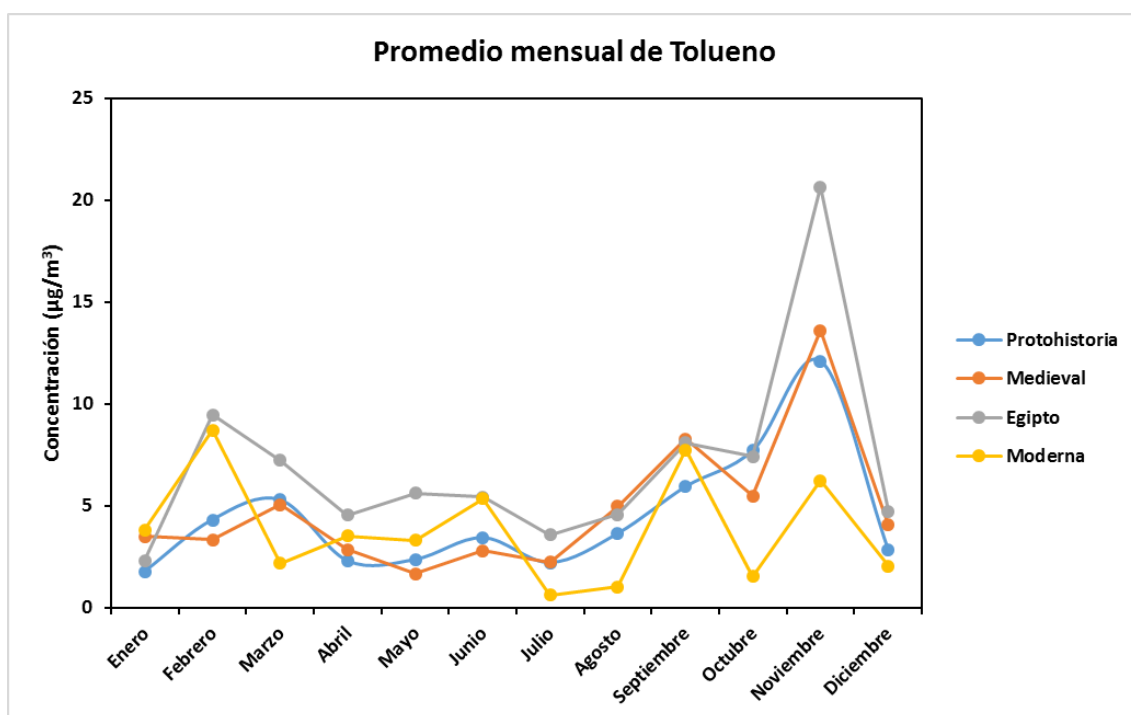


Figura 3.22: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas del aire interior del MAN durante el periodo 2014-2017 para el tolueno.

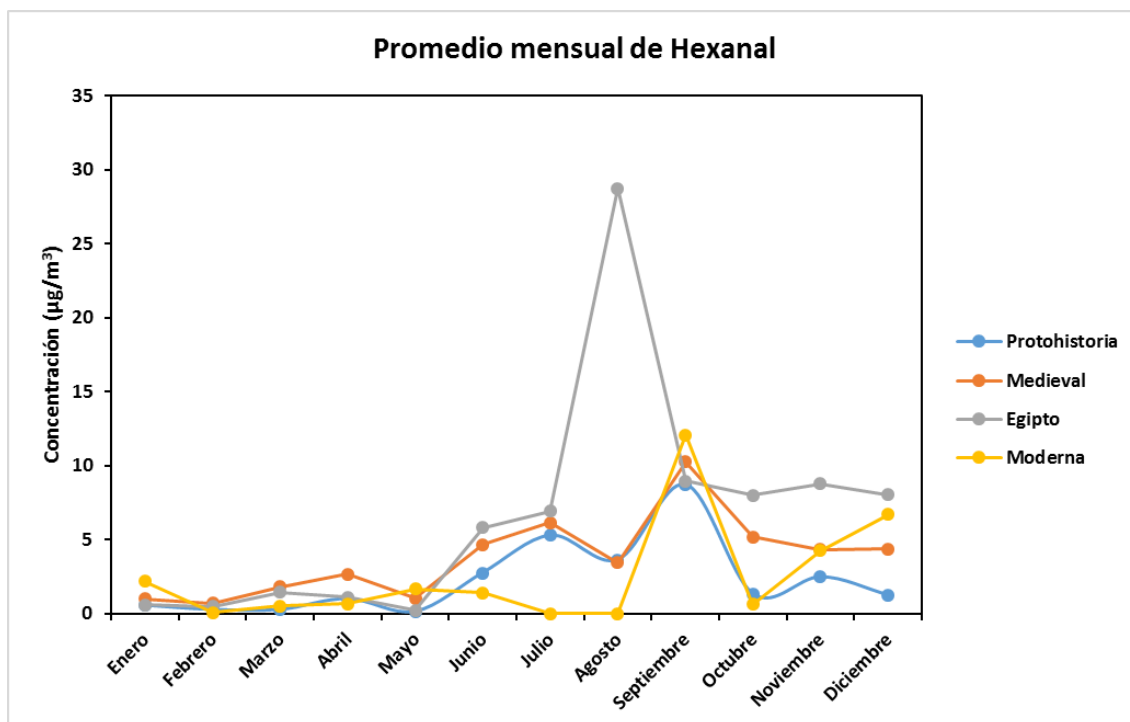


Figura 3.23: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas del aire interior del MAN durante el periodo 2014-2017 para el hexanal.

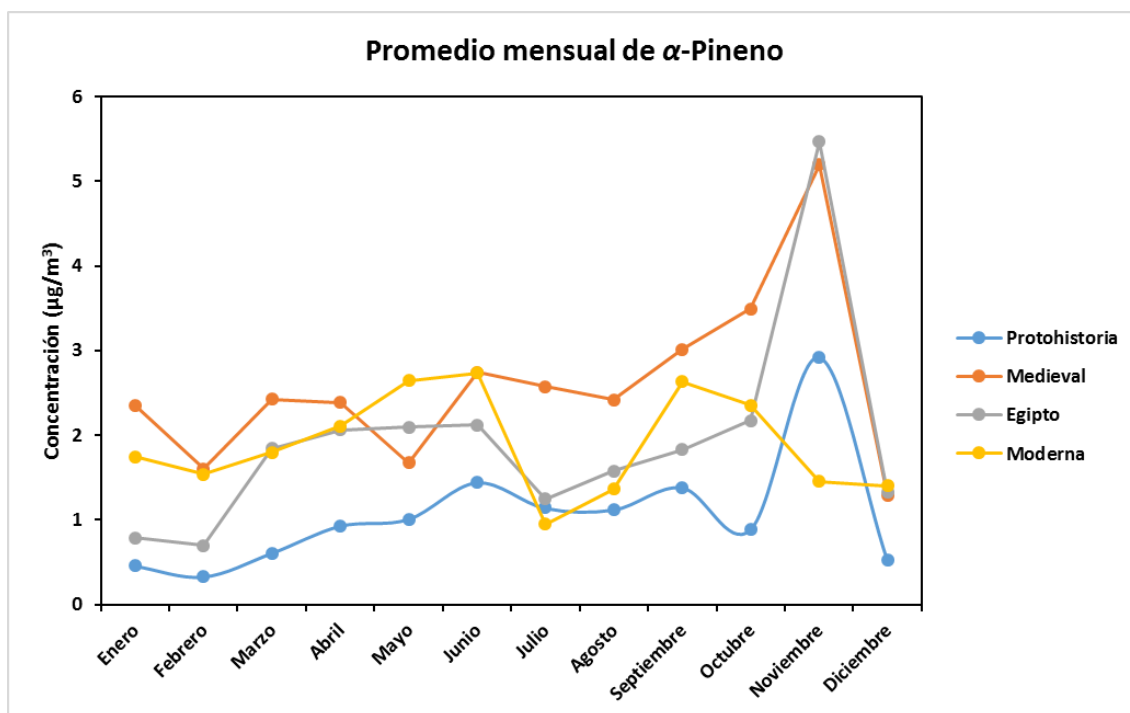


Figura 3.24: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas del aire interior del MAN durante el periodo 2014-2017 para el  $\alpha$ -pineno.



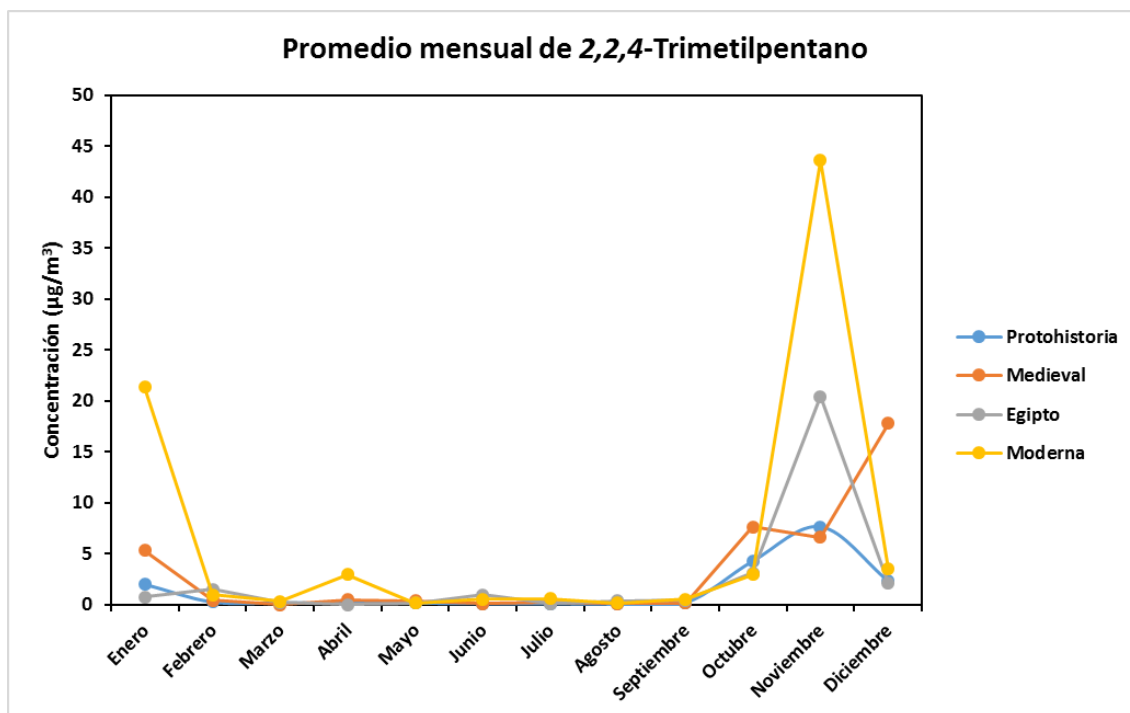


Figura 3.25: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas del aire interior del MAN durante el periodo 2014-2017 para el 2,2,4-trimetilpentano.

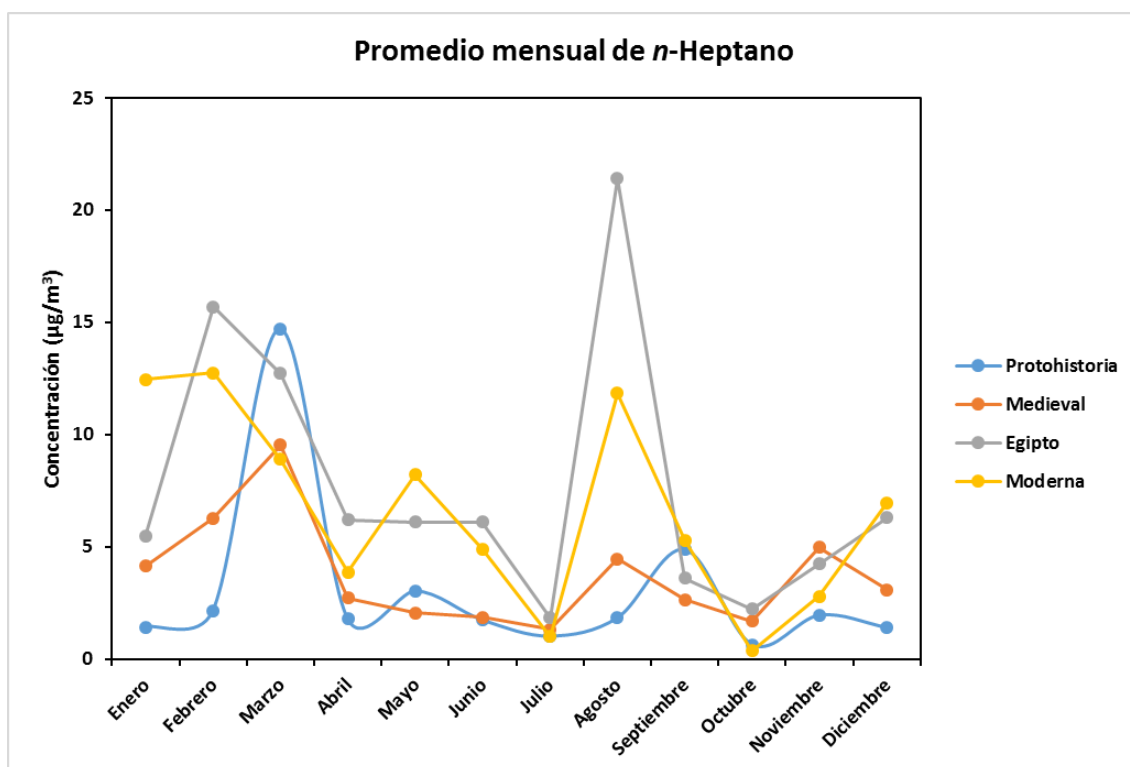


Figura 3.26: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas del aire interior del MAN durante el periodo 2014-2017 para el *n*-heptano.

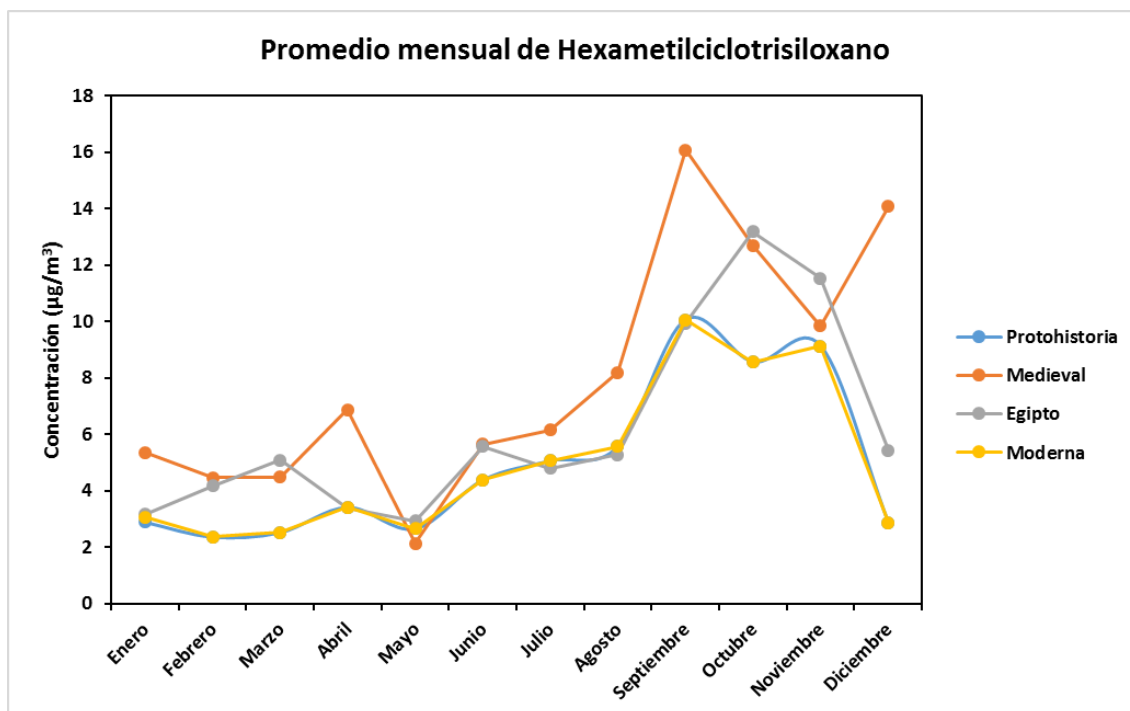


Figura 3.27: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas del aire interior del MAN durante el periodo 2014-2017 para el hexametilcyclotrisiloxano.

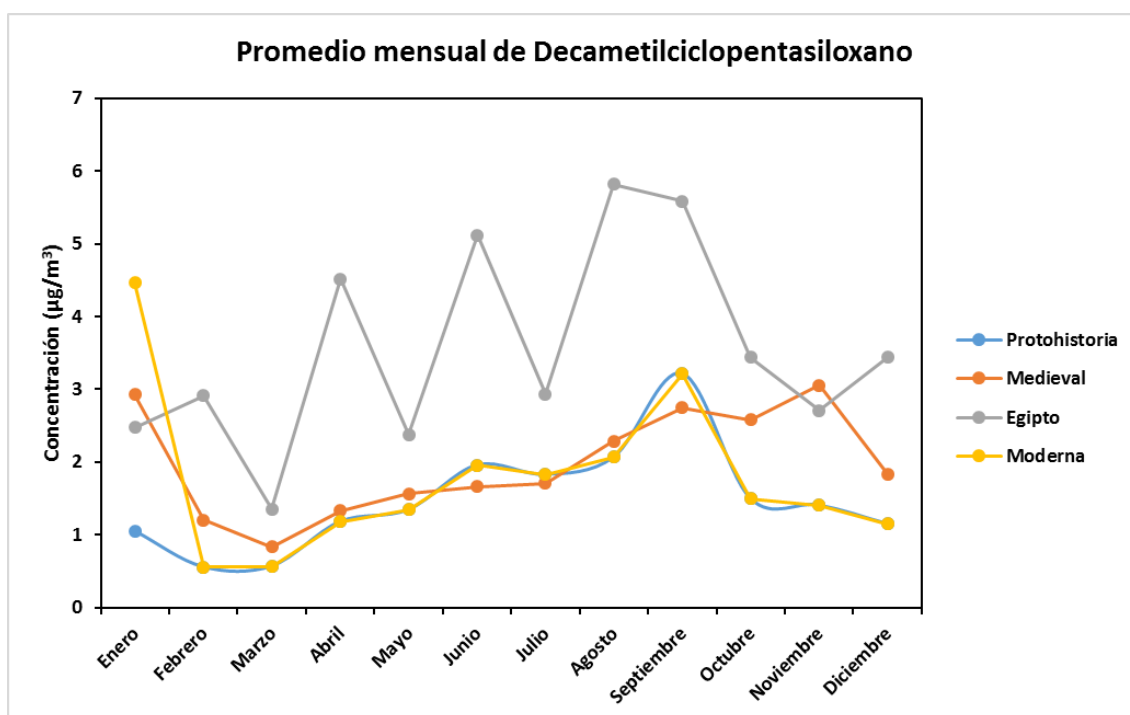


Figura 3.28: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas del aire interior del MAN durante el periodo 2014-2017 para el decametilciclopentasiloxano.

Se ha observado que los VOCs propios de fuentes de emisión de combustibles fósiles, como son el benceno, el tolueno y el 2,2,4-trimetilpentano (figuras 3.21, 3.22 y 3.25, respectivamente) han seguido una tendencia similar en todas las salas caracterizadas, alcanzando sus mayores valores en estaciones frías.

En el caso del heptano se ha visto una tendencia similar en todas las salas (figura 3.26), con los valores de concentración máximos durante los meses de invierno. En la sala de Egipto, al igual que ocurre en el caso del hexanal, (figura 3.23), se ha obtenido un valor mayor durante el mes de agosto.

En la figura 3.27 se ha observado como el hexametildiclotrisiloxano sigue una tendencia parecida en todas las salas, teniendo concentraciones algo superiores en la sala de Medieval. Este VOC está presente en productos de limpieza en seco para suelos de madera y ha sido coherente que los mayores valores promedio se hayan encontrado en las salas de Medieval y Egipto, ya que son las dos salas con mayor cantidad de madera tanto a nivel estructural como a nivel de exposición de patrimonio artístico. Este comportamiento también se ha dado en el caso del  $\alpha$ -pineno (figura 3.24), un terpeno asociado a los aceites de las coníferas, especialmente del pino. En este caso, también cabe destacar los aumentos que se han hallado en su concentración promedio durante los meses de primavera y otoño.

El decametildiclopentasiloxano (figura 3.28) ha seguido una tendencia similar en las salas de Moderna, Medieval y Protohistoria, mientras que en la sala de Egipto su tendencia ha fluctuado más y se han observado mayores concentraciones. Este VOC está asociado a productos de higiene personal y es de alto peso molecular, por lo que tiene menor volatilidad. La sala de Egipto es la que alberga los restos momificados expuestos en el museo, lo cual hace que sea la que posee mayor afluencia de visitantes.

### 3.3. Aire interior de las vitrinas. Resultados del periodo 2014-2017

Un tercer ambiente estudiado ha sido el existente en el interior de vitrinas de nueva adquisición con un alto grado de hermeticidad. Se han seleccionado diversas vitrinas en las distintas salas caracterizadas anteriormente. Su selección se ha hecho abarcando un amplio espectro de materiales.

#### 3.3.1. Estadística descriptiva

A continuación, se exponen los resultados relativos a la caracterización de vitrinas cuyo contenido son restos orgánicos momificados. La figura 3.29 muestra la localización de los puntos de muestreo estudiados.

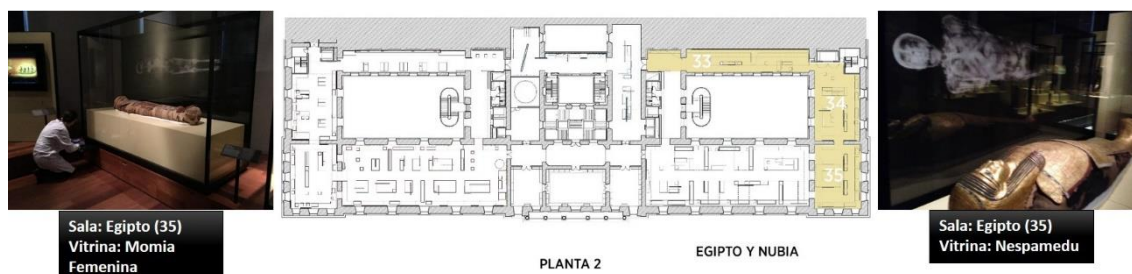


Figura 3.29: Planos extraídos de <http://www.man.es/man/exposicion/exposicion-permanente/el-nilo.html> y figura creada añadiendo los puntos de muestreo. Muestra la localización de la toma de muestra del aire del interior de las dos vitrinas de la sala de Egipto donde se localizan restos momificados.

En la tabla 3.4 se muestran, para cada uno de los VOCs cuantificados en el aire interior de las vitrinas muestreadas del MAN los siguientes estadísticos: el número de muestras analizadas (N), el promedio (media), la desviación estándar (SD), la mediana, el valor mínimo (min.) y el máximo (max.). Con objeto de establecer la presencia o ausencia de los VOCs cuantificados se ha hecho una media con todos los identificados en el interior de las distintas vitrinas, obteniéndose así los mayoritarios.

Por otro lado, el dato individual se encuentra en el anexo III donde se han organizado todos los resultados de este estudio por salas y por vitrinas.

**Tabla 3.4: Estadística descriptiva del periodo de medidas en el aire interior de las vitrinas del MAN mediante ATD-GC-MS: marzo 2014-diciembre 2017.**

Compuesto	Aire Interior vitrinas MAN Pasivos					
	N	Media ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Mediana ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Benceno	125	< LD	< LD	< LD	< LD	1,16
2,2,4-Trimetilpentano	125	< LC	1,28	< LD	< LD	10,41
<i>n</i> -Heptano	125	< LD	0,25	< LD	< LD	2,40
1,2-Propanodiol	125	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Tolueno	125	< LD	0,42	< LD	< LD	4,07
<i>n</i> -Octano	125	0,18	1,06	< LD	< LD	11,30
Hexanal	125	0,48	0,97	< LD	< LD	4,90
2-Butanona-oxima	125	< LD	0,20	< LD	< LD	1,76
Tetracloroetileno	125	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Hexametildiclotrisiloxano	125	3,39	5,31	< LD	< LD	36,29
Etilbenceno	125	< LC	0,48	< LD	< LD	3,66
<i>o</i> -Xileno	125	< LC	0,27	< LD	< LD	2,18
1-Metoxi-2-propilacetato	125	0,47	0,87	< LD	< LD	4,10
<i>m,p</i> -Xileno	125	< LC	1,10	< LD	< LD	10,35
<i>n</i> -Nonano	125	< LC	0,67	< LD	< LD	7,41
Cumeno	125	< LD	0,04	< LD	< LD	0,40
$\alpha$ -Pineno	125	< LD	0,05	< LD	< LD	0,26
<i>n</i> -Propilbenceno	125	< LD	0,13	< LD	< LD	1,06
Benzaldehído	125	< LD	< LD	< LD	< LD	< LC
3-Etiltolueno	125	< LC	0,33	< LD	< LD	2,94
Mesitileno	125	< LC	0,41	< LD	< LD	2,96
1,2,4-trimetilbenceno	125	< LC	1,89	< LD	< LD	17,34
Decano	125	< LC	0,44	< LD	< LD	3,42
Octametildiclotetrasiloxano	125	< LD	< LD	< LD	< LD	4,42
1,2,3-Trimetilbenceno	125	0,46	1,48	0,03	< LD	14,19
Cimeno	125	< LD	0,13	< LD	< LD	1,02
Limoneno	125	< LD	0,14	< LD	< LD	1,28
<i>n</i> -Butilbenceno	125	< LD	0,05	< LD	< LD	0,36
Acetofenona	125	< LD	0,03	< LD	< LD	< LD
4-Etil- <i>m,p</i> -Xileno	125	< LD	0,05	< LD	< LD	0,48
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	125	< LC	< LC	< LD	< LD	0,29

2-Butoxietilacetato	125	< LD	0,76	< LD	< LD	3,99
<i>n</i> -Undecano	125	< LC	0,34	< LD	< LD	2,09
Nonanal	125	< LD	0,35	< LD	< LD	2,59
Alcanfor	125	< LD	< LD	< LD	< LD	0,13
Decametilciclopentasiloxano	125	< LD	< LD	< LD	< LD	3,62
$\beta$ -Terpineol	125	< LD	1,19	< LD	< LD	9,55
$\alpha$ -Terpineol	125	< LD	0,71	< LD	< LD	3,54
Decanal	125	< LD	< LC	< LD	< LD	0,69
Isobornilacetato	125	< LD	< LD	< LD	< LD	< LC
Dodecametilciclohexasiloxano	125	< LD	0,30	< LD	< LD	1,81
Ácido Undecanoico	125	< LD	0,18	< LD	< LD	< LD
2-Fenilbutiramida	125	0,19	1,74	< LD	< LD	19,18
Diisobutilftalato	125	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

Los 7 VOCs mayoritarios que se han encontrado en el interior de las vitrinas son: hexametilciclotrisiloxano, 1,2,4-trimetilbenceno, hexanal, 1-metoxi-2-propilacetato, 1,2,3-trimetilbenceno, 2,2,4-trimetilpentano y 2-butoxietilacetato. En ambos ambientes han coincidido tres VOCs (hexametilciclotrisiloxano, 2,2,4-trimetilpentano, hexanal) que están presentes en materiales y componentes que se han empleado para la construcción de las vitrinas. Teniendo en cuenta los valores mínimos, resulta reseñable que tan solo los siloxanos se han encontrado de forma continua por encima del límite de detección.

Se observa que en el interior de las vitrinas la familia con mayores valores medios ha sido la de los siloxanos, componentes mayoritarios de siliconas y sellantes utilizados en su conformado. La figura 3.30 muestra el cromatograma de los VOCs emitidos por este tipo de siliconas.

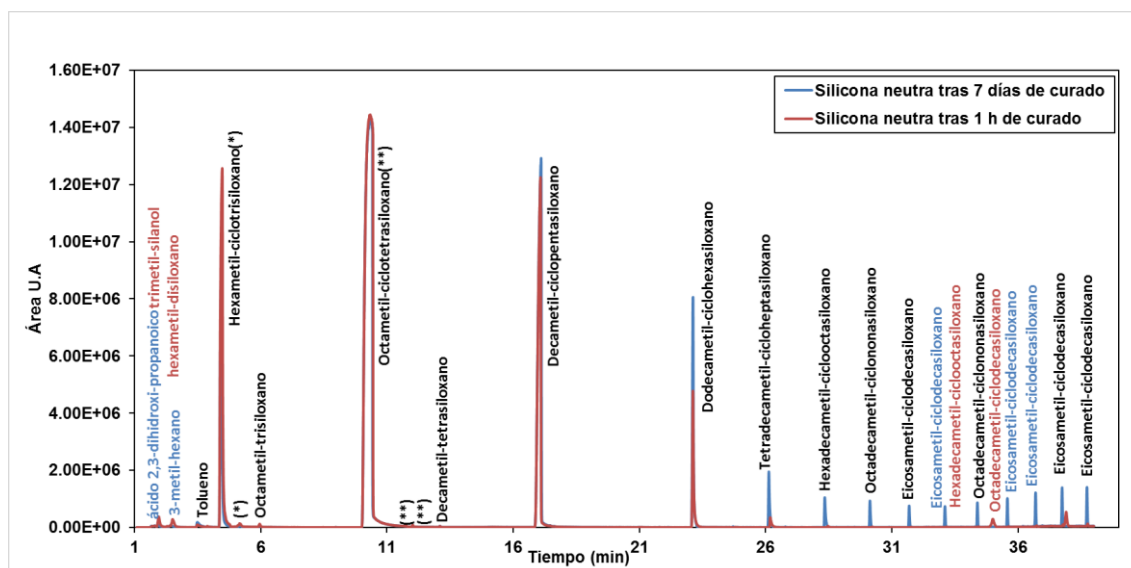


Figura 3.30: Cromatograma con los VOCs emitidos por una silicona neutra comercial. Se muestran en azul los VOCs identificados para muestra de 7 días de curado, en rojo los identificados para la muestra de 1 hora de curado y en negro los coincidentes en ambas muestras.

Las concentraciones que se han observado han sido mayores a las obtenidas en los muestreos pasivos del aire interior del museo y explicable por la hermeticidad de las nuevas vitrinas MAN.

Los ratios de intercambio de aire nulos o muy próximos a cero, se traducen en malos olores y posibles daños en el patrimonio artístico contenido en ellas.

### 3.3.2. Promedios mensuales

Al igual que en apartados anteriores se han calculado los promedios mensuales para los dos VOCs mayoritarios encontrados de cada una de las familias estudiadas, como se observa en las figuras 3.31 y 3.32.

En el caso de las dos momias egipcias se ha observado que ambos compuestos aromáticos siguen la misma tendencia. Se ha producido un aumento en la concentración de estos compuestos durante los meses de primavera en la vitrina de Nespamedu. Estos datos han coincidido con los periodos de apertura de la vitrina para el estudio realizado por el personal del MAN y el Hospital Quirón que dio lugar a un documental emitido en febrero de 2018 (<http://blog.rtve.es/historiasecretamomias>).

Las vitrinas donde descansan las momias egipcias del MAN son completamente herméticas y abrirlas requiere del desmontaje parcial de la vitrina para luego volverla a sellar, lo cual ha implicado nuevas aplicaciones de silicona (figura 3.33). Sin embargo, cabe destacar que los sistemas de filtración de las vitrinas han mantenido las emisiones de VOCs a niveles mínimos. En el capítulo 5 de este trabajo se estudiarán los sistemas de eliminación de VOCs más ampliamente.

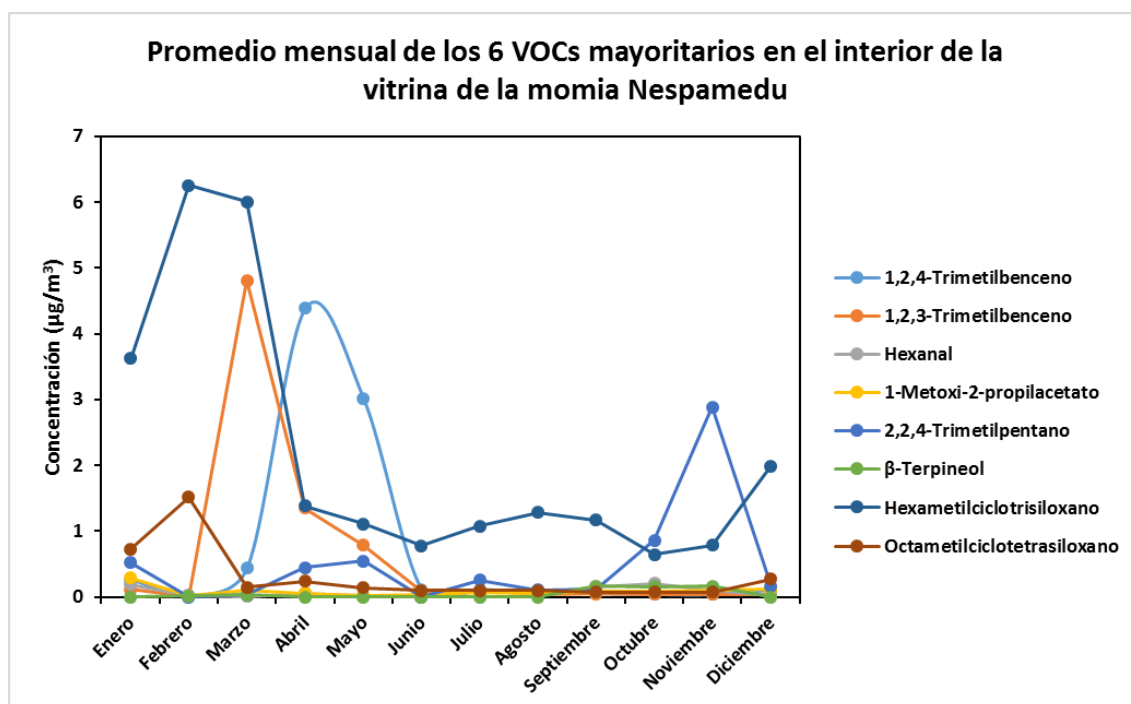
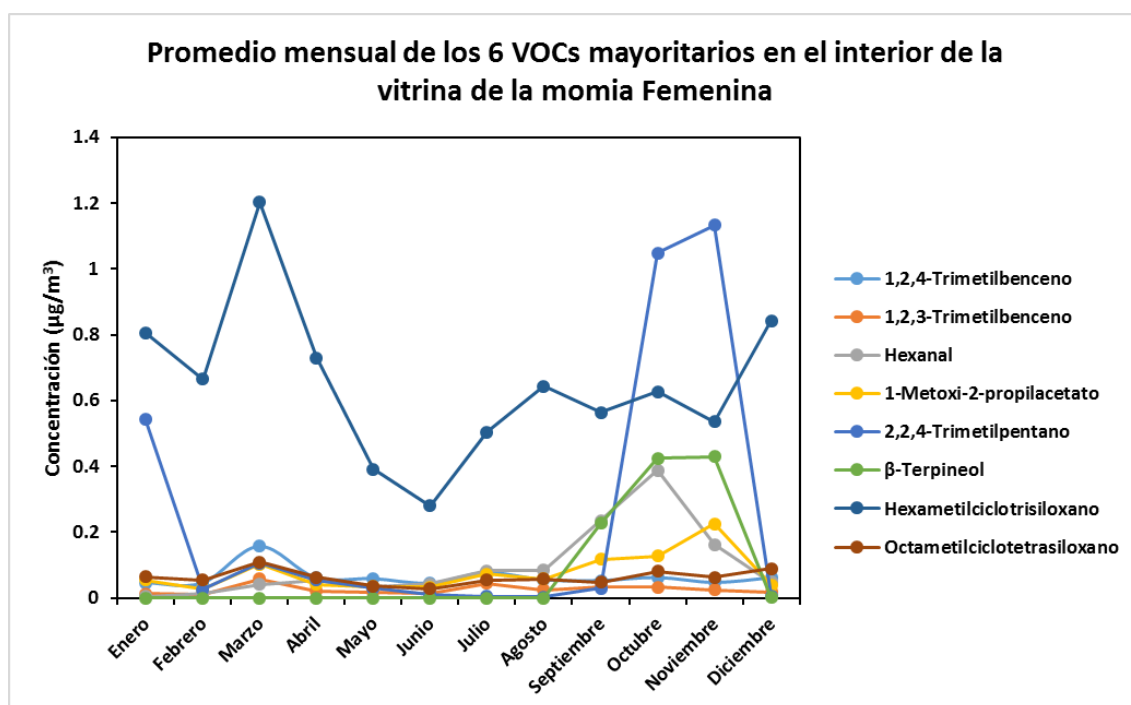


Figura 3.31: Concentración promedio mensual de las muestras tomadas del aire interior de la vitrina de la momia Nespamedu de la sala de Egipto del MAN durante el periodo 2014-2017 para los VOCs mayoritarios encontrados.



**Figura 3.32:** Concentración promedio mensual de las muestras tomadas del aire interior de la vitrina de la momia Femenina de la sala de Egipto del MAN durante el periodo 2014-2017 para los VOCs mayoritarios encontrados.

Los dos compuestos que se han incluido dentro de la familia de aldehídos y terpenos que se observan en dichas figuras han mostrado una tendencia similar. En este caso, se ha visto mayor concentración en la vitrina de la momia femenina y mayores fluctuaciones que han alcanzado los valores más elevados en otoño e invierno. Sin embargo, se ha de notar que en ningún caso los valores han alcanzado  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En el caso del alcano ramificado y el alcohol (2,2,4-trimetilpentano y  $\beta$ -terpineol), los resultados han determinado que su tendencia no ha sido similar. El alcano ha dado mayores valores promedio y fluctuaciones estacionales en la vitrina de Nespamedu, alcanzado valores superiores a  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; mientras que el alcohol ha mostrado mayores concentraciones en la vitrina de la momia femenina, con una tendencia similar a la observada en Nespamedu, pero sin sobrepasar en ningún caso  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Por último, ambos siloxanos han seguido tendencias similares a lo largo del año. Las mayores concentraciones promedio se han dado en la vitrina de Nespamedu, donde se ha observado un incremento en los meses de invierno.





Figura 3.33: Proceso de desmontaje y posterior montaje de la vitrina de Nespamedu para su traslado al Hospital Quirón.

En apartados posteriores se discutirán los resultados obtenidos con otras vitrinas cuyo contenido son obras de composición inorgánica, lo cual ha derivado en los experimentos de degradación de materiales pictóricos que se exponen en el capítulo 4 junto con los resultados obtenidos sobre la caracterización y degradación de los materiales presentes en ellas.

### 3.4. Análisis de los cocientes entre las concentraciones interiores y las concentraciones exteriores.

#### 3.4.1. Relación entre el aire del interior del museo vs el exterior del museo

Para evaluar la relación que existe entre la contaminación que hay en el interior del MAN y la que se da en el exterior del museo, se ha empleado la razón I/O. La razón I/O se define como la relación cuantificada entre la concentración de VOCs del interior (*indoor*, I) y del exterior (*outdoor*, O), y es una herramienta importante para indicar la fuente de contaminación en aire interior (Grzywacz, 2006; Parra *et al.*, 2008), al reflejar la proporción entre ambas magnitudes. Las relaciones que se obtienen son:

- Razón I/O > 5 (según indican otros autores como Edwards *et al.*, 2001a y b; Guo *et al.*, 2003; Jia *et al.*, 2008a y b) indica que la fuente de contaminantes está en el interior y es significativa. Cuando en apartados posteriores se ha evaluado la razón I/O para el aire interior de las vitrinas y el aire interior de las salas del museo, consideraremos que una razón I/O > 1

indicará que la fuente de contaminantes está en el interior y es significativa, dado que los límites de tolerancia de los materiales históricos a la contaminación son menores comparados con los límites de salud laboral, como se ha visto en el capítulo de introducción. Además, el volumen de aire de las vitrinas es menor al ser un ambiente contenido y limitado.

- Razón I/O = 1 indica que las fuentes de contaminación interior y exterior son iguales, por lo que el edificio y/o el sistema de ventilación (HVAC, siglas en inglés) no filtra la contaminación del exterior.
- Razón I/O > 0,3 y < 1 indica que entre el 30-100 % de la contaminación exterior está entrando en el interior; es decir, el edificio y/o el HVAC tiene en I/O = 0,3 una eficiencia de aproximadamente el 70 % en la filtración de la contaminación procedente del exterior.
- Razón I/O  $\approx$  0 - 0,05 es la situación ideal, donde las fuentes de emisión de contaminación interior son bajas. Además, el edificio y/o el HVAC previene la entrada de contaminación exterior.

De esta forma la razón I/O se ha podido emplear como indicador de la contaminación interior y así poder determinar las posibles fuentes de emisión. Las figuras 3.34 a la 3.37 muestran esta relación para las diferentes familias de VOCs analizadas en este trabajo de tesis. Dicha relación se ha extraído de los datos obtenidos a partir de los muestreos activos realizados.

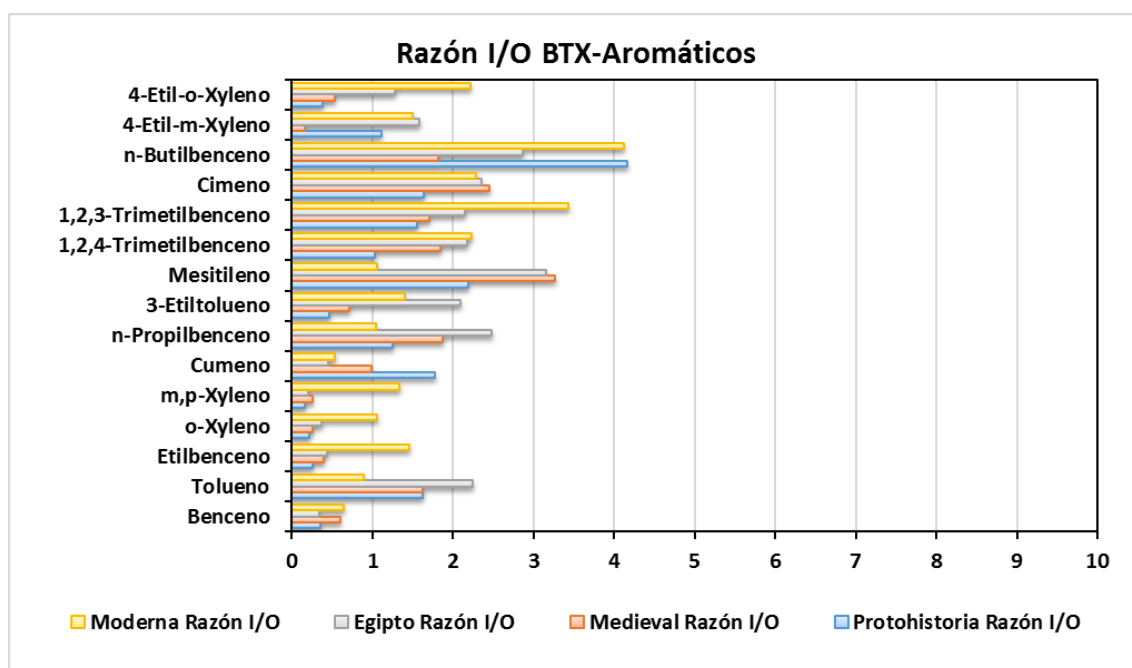
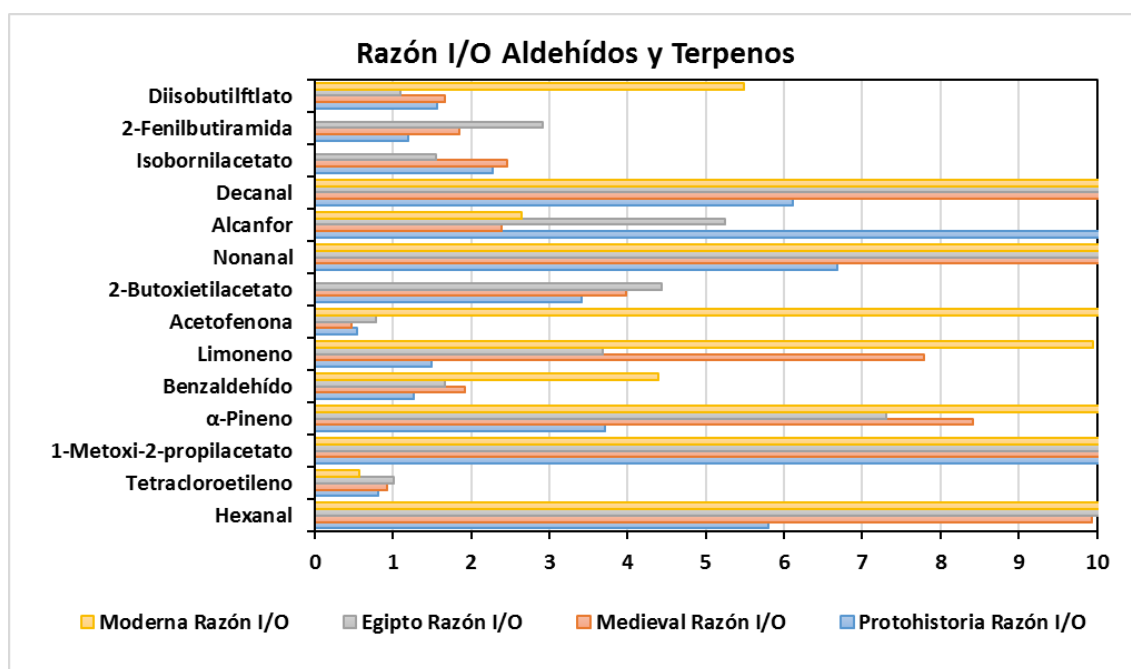


Figura 3.34: Relación entre las concentraciones medidas en el interior de las distintas salas estudiadas del museo y en el exterior del MAN para la familia de BTX-aromáticos.

Si bien en el caso de los BTX-aromáticos se han visto valores superiores a la unidad en muchos casos, ninguno de ellos ha estado por encima de 5. Debido a esto se ha podido concluir que la principal fuente de esta familia proviene del exterior del edificio, posiblemente su entrada se ha producido durante la continua apertura de puertas, el tránsito de los usuarios del museo o una pobre eficiencia en el sistema de filtración del HVAC.



**Figura 3.35:** Relación entre las concentraciones medidas en el interior de las distintas salas estudiadas del museo y en el exterior del MAN para la familia de aldehídos y terpenos.

Tanto en la mayoría de las salas como en la mayoría de los VOCs de esta familia se han observado valores superiores a la unidad y a 5, quedando claro que la fuente de emisión de dichos VOCs se encuentra en el interior del museo.

Mc Donald y sus colaboradores (2018) han publicado un estudio en el cual se ha demostrado que las emisiones de VOCs por productos derivados de la industria química, que incluyen pesticidas, recubrimientos, tintas, adhesivos, productos de limpieza y productos de higiene personal; habían aumentado su porcentaje transformándose en una de las principales causas de contaminación interior; por detrás han quedado las emisiones por tráfico rodado, gracias a las políticas y trabajos realizados para llevar a cabo su reducción.

Las fragancias, disolventes y productos de consumo que existen actualmente son las principales fuentes de emisión de aldehídos y terpenos en aire interior.

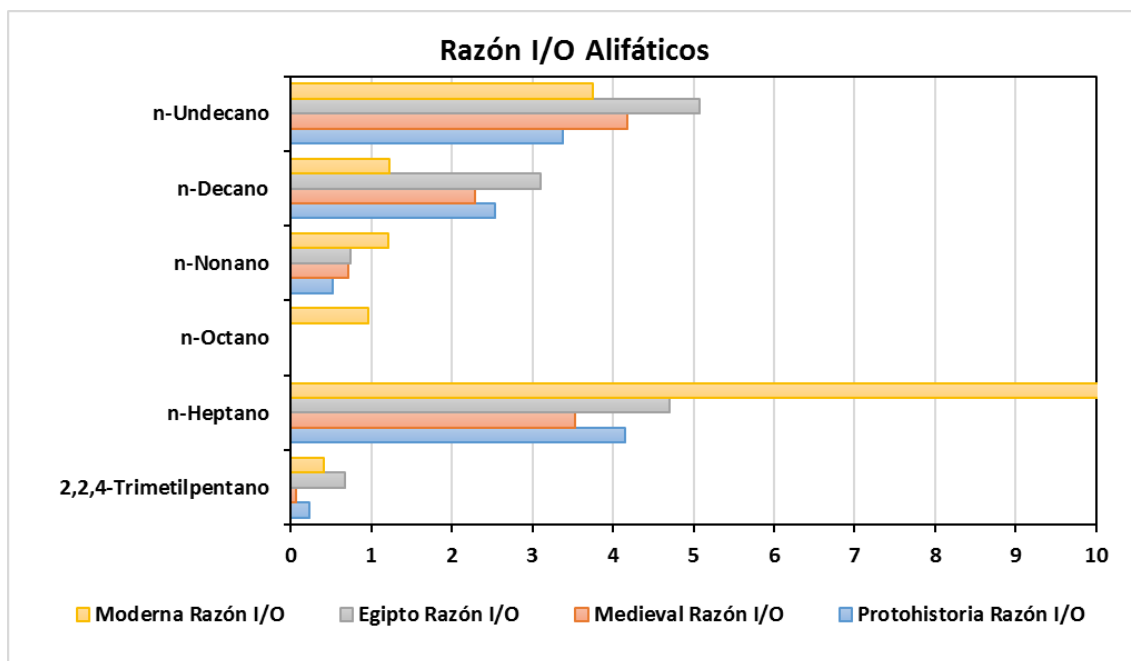


Figura 3.36: Relación entre las concentraciones medidas en el interior de las distintas salas estudiadas del museo y en el exterior del MAN para la familia de alifáticos.

Los alifáticos se emplean principalmente como disolventes (por ejemplo, el heptano). Cabe destacar de la figura 3.36 que los dos compuestos alifáticos estudiados, cuya principal fuente de emisión son los combustibles fósiles (2,2,4-trimetilpentano o *iso*-octano y octano), han sido los únicos cuya relación ha mostrado valores inferiores a la unidad, lo que ha confirmado así su procedencia. Mientras que el nonano, decano y undecano son VOCs pesados y no oxigenados presentes en destilados del petróleo y aguarrás, que se emplean como disolventes en recubrimientos, y como muestra la figura sus fuentes de emisión se han correspondido con el interior del museo.

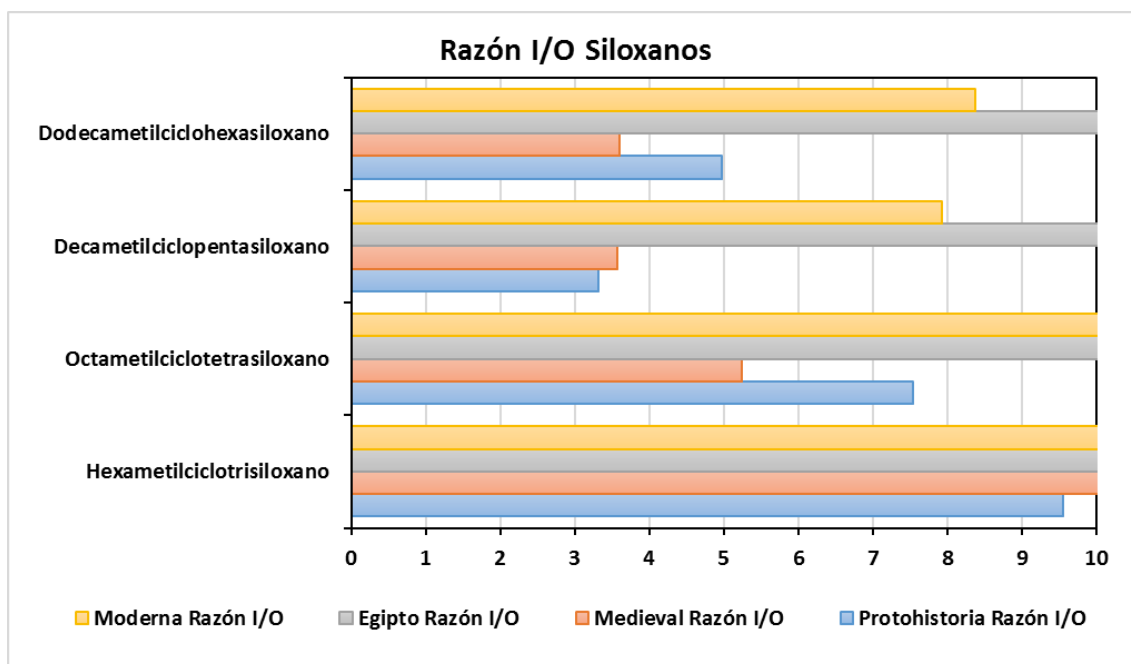


Figura 3.37: Relación entre las concentraciones medidas en el interior de las distintas salas estudiadas del museo y en el exterior del MAN para la familia de siloxanos.

En el caso de los siloxanos, todos han alcanzado valores muy superiores a la unidad y en la mayoría de las salas muy superiores a 5. Son una familia cuyo foco de emisión se encuentra en el interior de los edificios, en el caso de los museos su principal fuente son las denominadas siliconas neutras que se emplean para el montaje de las vitrinas que contienen las obras a exponer, como se ha mencionado anteriormente. También pueden encontrarse en otros productos de higiene personal y de limpieza en seco para suelos (Lassen *et al.*, 2005).

### 3.4.2. Relación entre el aire del interior de las vitrinas vs el interior del museo

Para evaluar la relación que existe entre la contaminación que hay en el interior de las vitrinas y la que existe en el interior del museo, al igual que en la evaluación entre el aire interior y exterior explicado anteriormente, se ha empleado la razón I/O, obteniéndose los resultados que se observan en las figuras 3.38 a 3.41. En este caso se ha considerado, como aire interior, el aire del interior de las vitrinas y, como aire exterior, el aire del interior de las salas del museo donde están contenidas dichas vitrinas.

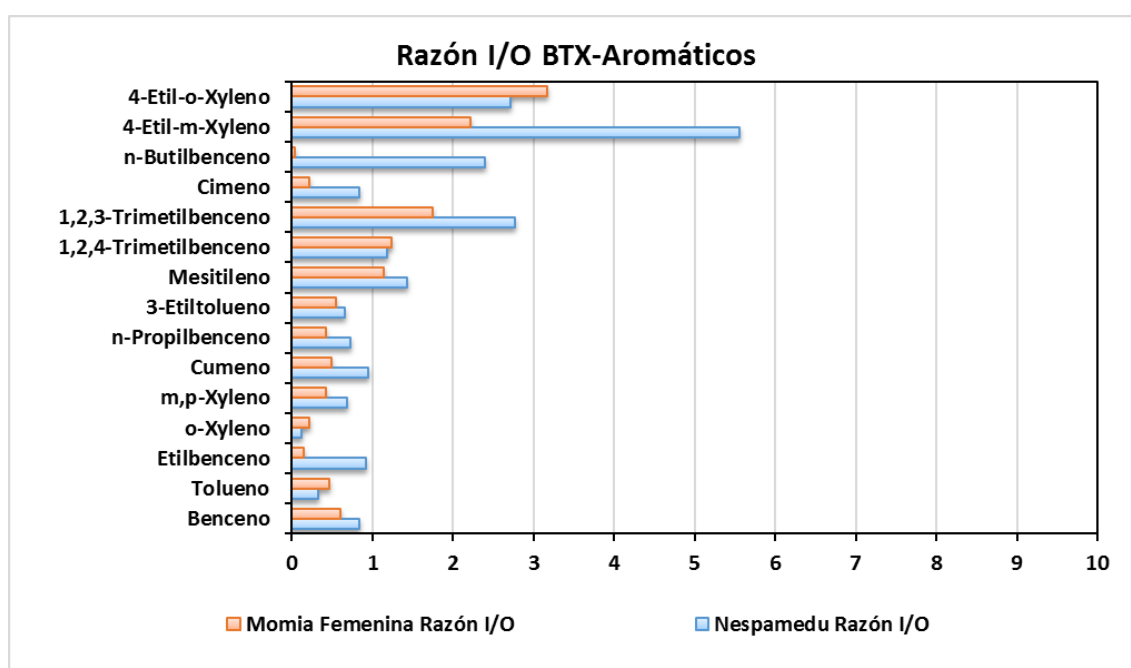


Figura 3.38: Relación entre las concentraciones medidas en el interior de las vitrinas estudiadas y en el interior de las salas que las contienen para la familia de BTX-aromáticos.

Al observar la figura 3.38 se ha visto que, en el caso de las dos momias egipcias, los aromáticos de mayor peso molecular se han encontrado por encima de la unidad, por lo que su fuente de emisión se localiza en el interior de la vitrina. En las tablas del capítulo 1 se pueden observar las fuentes de emisión propias de los VOCs cuantificados en este estudio. De ellas se han extraído que estos VOCs se encuentran en disolventes de pinturas, lacas, tintes, adhesivos y caucho, materiales todos ellos presentes en las vitrinas y en los carteles explicativos de su interior.

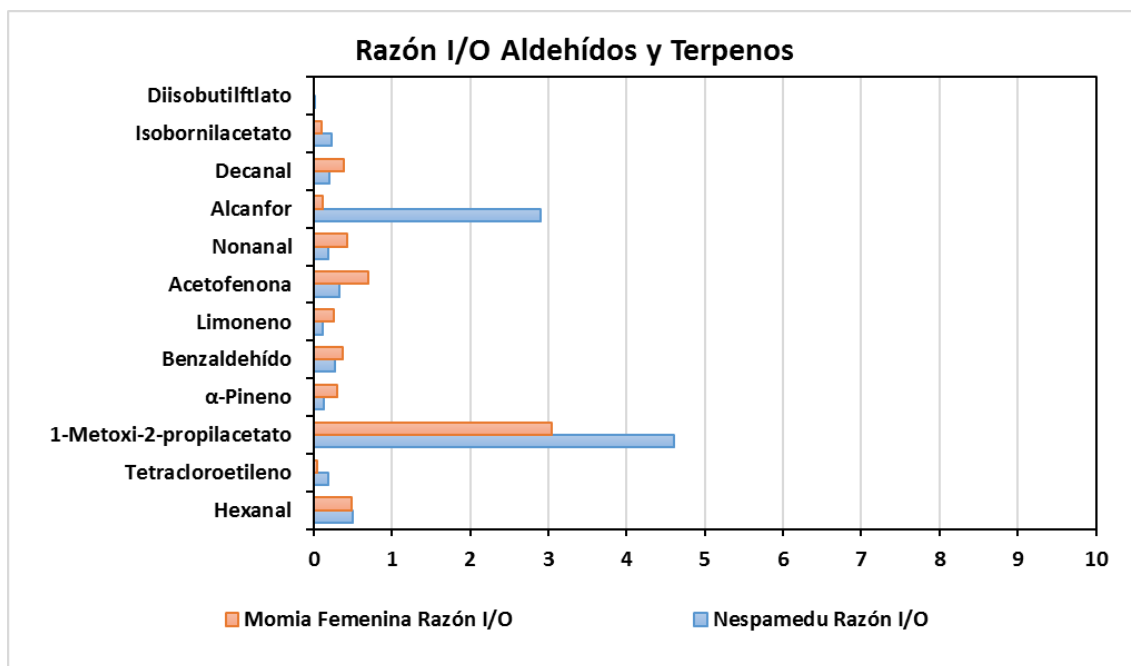
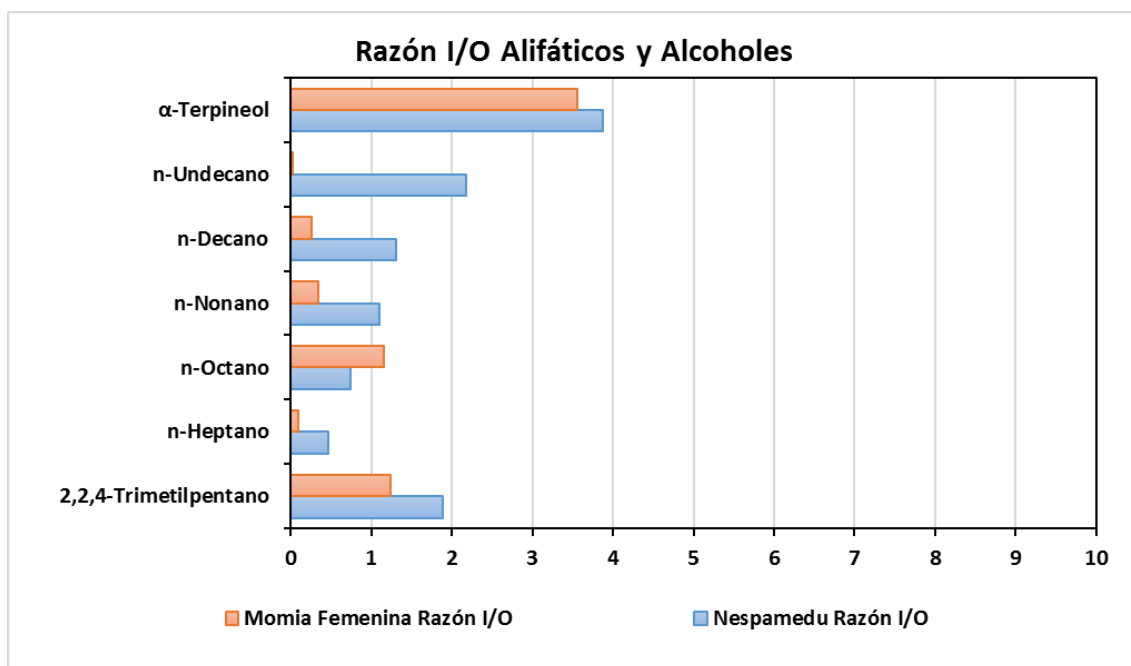


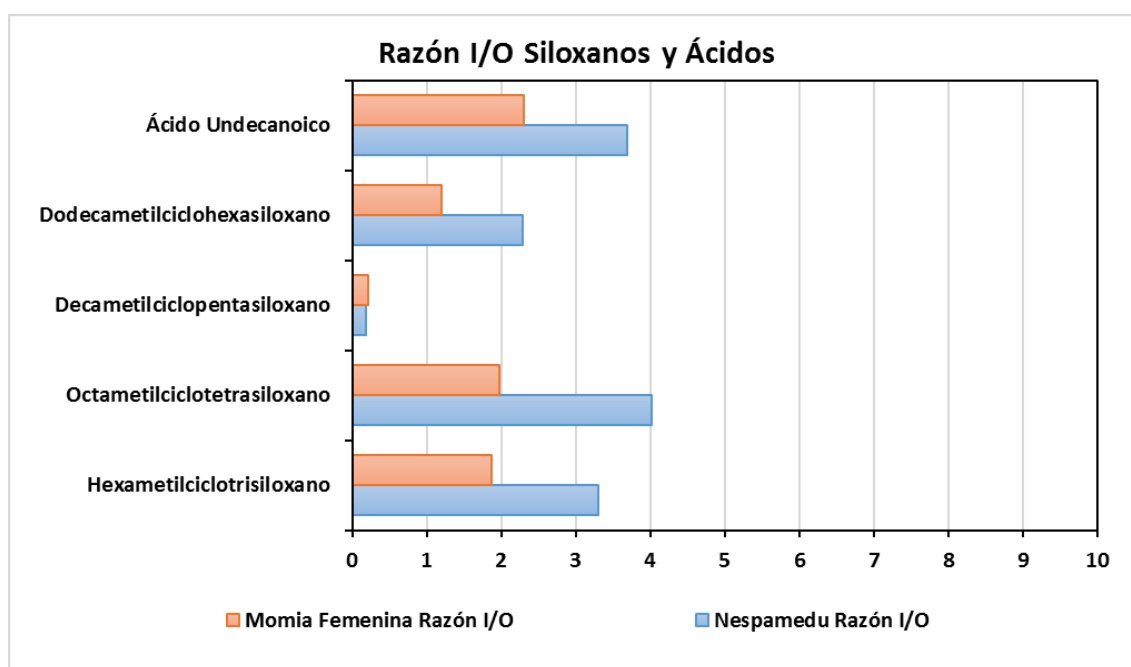
Figura 3.39: Relación entre las concentraciones medidas en el interior de las vitrinas estudiadas y en el interior de las salas que las contienen para la familia de aldehídos y terpenos.

En la figura 3.39 se ha observado que los únicos VOCs con valores superiores a la unidad y, por tanto, cuyas fuentes de emisión se han encontrado en el interior de la vitrina, son 1-metoxi-2-propilacetato y alcanfor. El primero es un disolvente industrial y el alcanfor es un insecticida. Tanto los disolventes, como los insecticidas, se pueden encontrar en el interior de las vitrinas; los primeros derivan de los procesos de construcción de las mismas, mientras que en el caso de los restos orgánicos, los insecticidas se emplean para evitar el deterioro microbiológico de estas obras. Además, los egipcios empleaban especias como pimienta y mostaza y otras plantas para los procesos de momificación (Llagostera, 2015), estas son fuentes de emisión de aldehídos y terpenos.



**Figura 3.40: Relación entre las concentraciones medidas en el interior de las vitrinas estudiadas y en el interior de las salas que las contienen para la familia de alifáticos y alcoholes.**

Los alifáticos se emplean mayoritariamente como disolventes y aditivos en pinturas propios de los materiales de construcción de las vitrinas. Los bajos o nulos intercambios de aire con el exterior que poseen estas vitrinas hacen que los VOCs se vayan acumulando en el interior, lo que puede generar daños en las obras (Camuffo *et al.*, 2000). En la figura 3.40 se ha mostrado como en todos los casos estos compuestos poseen su fuente de emisión en el interior de la vitrina.



**Figura 3.41: Relación entre las concentraciones medidas en el interior de las vitrinas estudiadas y en el interior de las salas que las contienen para la familia de siloxanos y ácidos.**

Al igual que se ha visto en la figura 3.37 sobre las fuentes de emisión del interior del museo, en la figura 3.41 se ha observado que los siloxanos son compuestos cuyo origen se encuentra tanto en el aire interior del museo como en el aire interior de las vitrinas, como ya se ha explicado anteriormente, debido al uso de siliconas neutras. En el caso de la figura 3.41 ha aparecido un VOC cuya fuente de emisión se ha encontrado en el interior de las vitrinas: ácido undecanoico, este ácido posee un olor desagradable y se encuentra en los anti-fúngicos (Russell y Ayliffe's, 2004). Estos se emplean en los museos para evitar el biodeterioro de piezas de naturaleza orgánica en los tratamientos de conservación preventiva.

### 3.5. Selección de los contaminantes mayoritarios en el interior de las vitrinas.

Como se ha discutido anteriormente, a la hora de preservar de la mejor forma posible el patrimonio artístico que poseen los museos, se suelen emplear vitrinas, pero estas no son siempre un ambiente seguro ya que, aunque impiden la entrada de polvo y contaminantes y permiten una óptima regulación de variables como la temperatura y humedad relativa, sirven



de micro-ecosistemas y se puede generar efecto invernadero y la acumulación de emisiones en su interior.

Desde los comienzos del proyecto, los conservadores informaron de un ennegrecimiento acelerado de las piezas de plata que no se vio correlacionado inicialmente con altos niveles de formaldehído, acético o fórmico. Con objeto de determinar el nivel de contaminación existente en un número mayor de vitrinas sin sistemas de filtrado ni tratamiento alguno, en 2017 se decidió realizar muestreos activos y pasivos en 11 nuevas vitrinas (figura 3.42). Se seleccionaron vitrinas ricas entre otros, en materiales metálicos, incluyendo de nuevo medidas de los tres compuestos resaltados en la bibliografía.

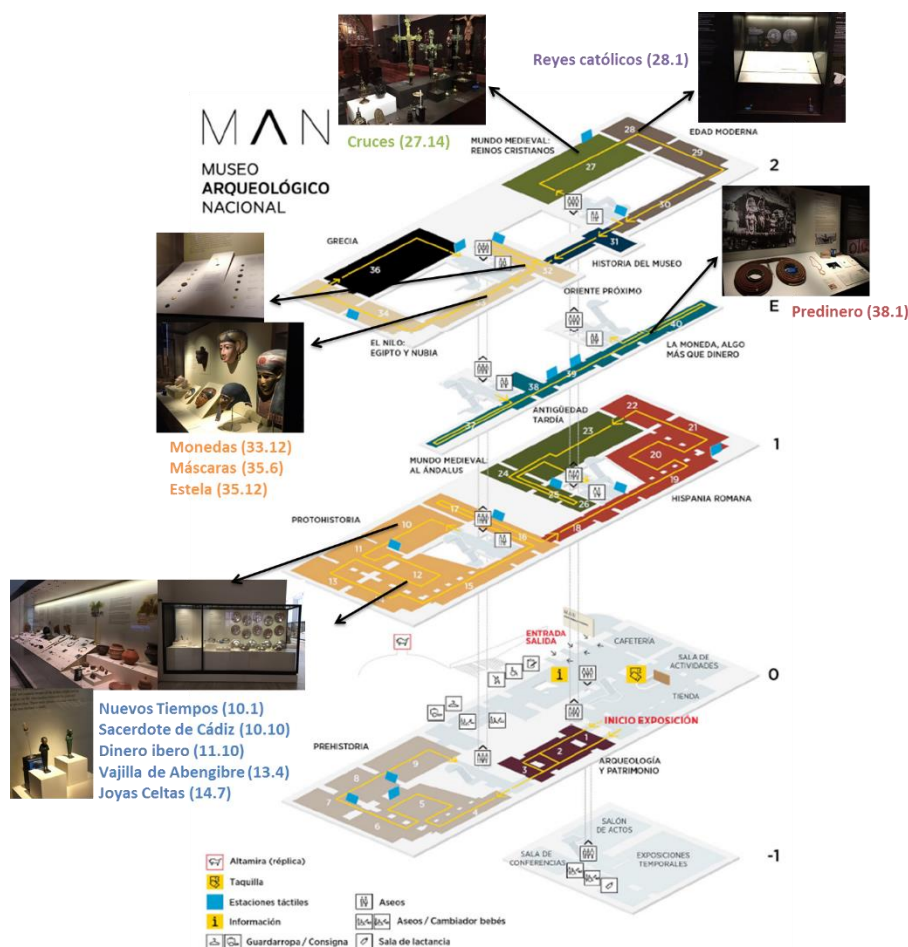


Figura 3.42: Localización en el plano del MAN {modificado a partir del que figura en su web: <http://www.man.es/man/visita/plano-exposicion.html>) de las vitrinas muestreadas.

La caracterización del aire del interior de estas vitrinas se ha realizado mediante tomas de muestra de VOCs activos y pasivos, complementadas con muestreos activos de los tres contaminantes típicos más estudiados para ambientes de museos: el formaldehído, el ácido acético y el ácido fórmico. Estos tres compuestos no pueden ser identificados mediante ATD-GC-MS por lo que en estas nuevas vitrinas distinguimos entre Total VOCs (TVOCs) detectados y cuantificados por ATD-GC-MS y los ácidos orgánicos y formaldehído identificados por cromatografía iónica y cromatografía de líquidos con detector de UV-Vis (Capítulo 2).

En la tabla 3.5 se muestran los resultados promedios de los muestreos llevados a cabo en el interior de estas vitrinas para el total de VOCs, formaldehído, ácidos acético y fórmico. El formaldehído se encuentra por debajo del límite de detección en todas las vitrinas salvo en

tres y en estas últimas por debajo de 0,1 ppb, que es el límite inferior para materiales sensibles a este contaminante (Grzywacz, 2006). La misma autora considera como límites altos, concentraciones de 600 - 1000 y 150 - 450 ppb para el ácido acético y el fórmico respectivamente. En la tabla 3.5 se han marcado con fondo amarillo las vitrinas que alcanzan dichos intervalos. Se han observado dichos valores en cinco de once vitrinas, dos de ellas con materiales orgánicos, y tres con piezas metálicas.

En las figuras 3.43 a 3.45 se observa la evolución del promedio de los ácidos orgánicos y los VOCs para las distintas salas del museo. Cabe destacar que ha sido en las vitrinas de la sala de Protohistoria donde se ha encontrado la mayor variabilidad, ya que los resultados han mostrado las vitrinas con mayores y menores valores promedio.

Tabla 3.5: Valor promedio (en ppb) de las concentraciones obtenidas en el ambiente interior de las vitrinas objeto de estudio.

**Primera Planta del MAN**

Sala	Protohistoria				
Vitrina	Nuevos Tiempos	Sacerdote de Cádiz	Dinero Ibero	Vajilla de Abengibre	Joyas Celtas
FMD (ppb)	<LD	<LD	<LD	0,05	0,05
Ácido Acético (ppb)	60,44	218,90	96,03	116,17	242,05
Ácido Fórmico (ppb)	105,13	370,08	107,80	128,23	347,93
TVOCs (ppb)	12,03	79,87	102,61	82,39	46,84

**Segunda Planta del MAN**

Sala	Egipto			Medieval	Moderna	Numismática
Vitrina	Monedas Egipto	Máscaras	Estela	Cruces	Reyes Católicos	Predinero
FMD (ppb)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0.03
Ácido Acético (ppb)	182,06	138,69	143,02	231,11	103,27	235,91
Ácido Fórmico (ppb)	290,29	207,20	99,12	146,36	108,37	287,24
TVOCs (ppb)	80,14	42,14	43,41	78,28	49,62	83,78

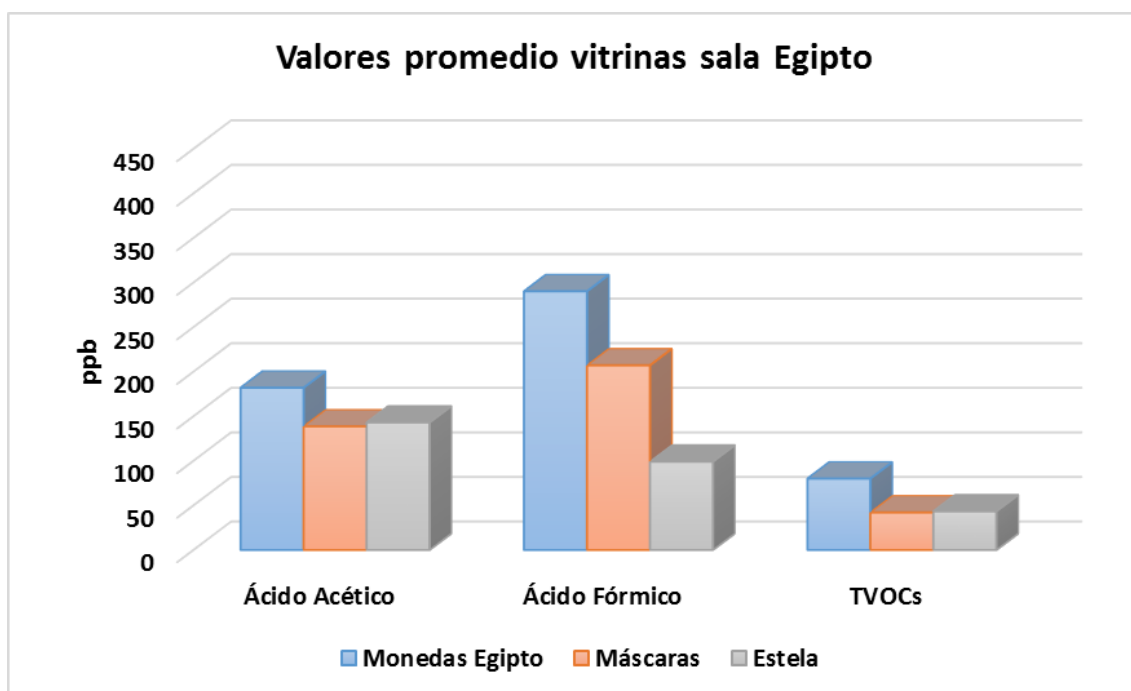


Figura 3.43: Valores promedio de concentración obtenidos para las vitrinas de la sala de Egipto.

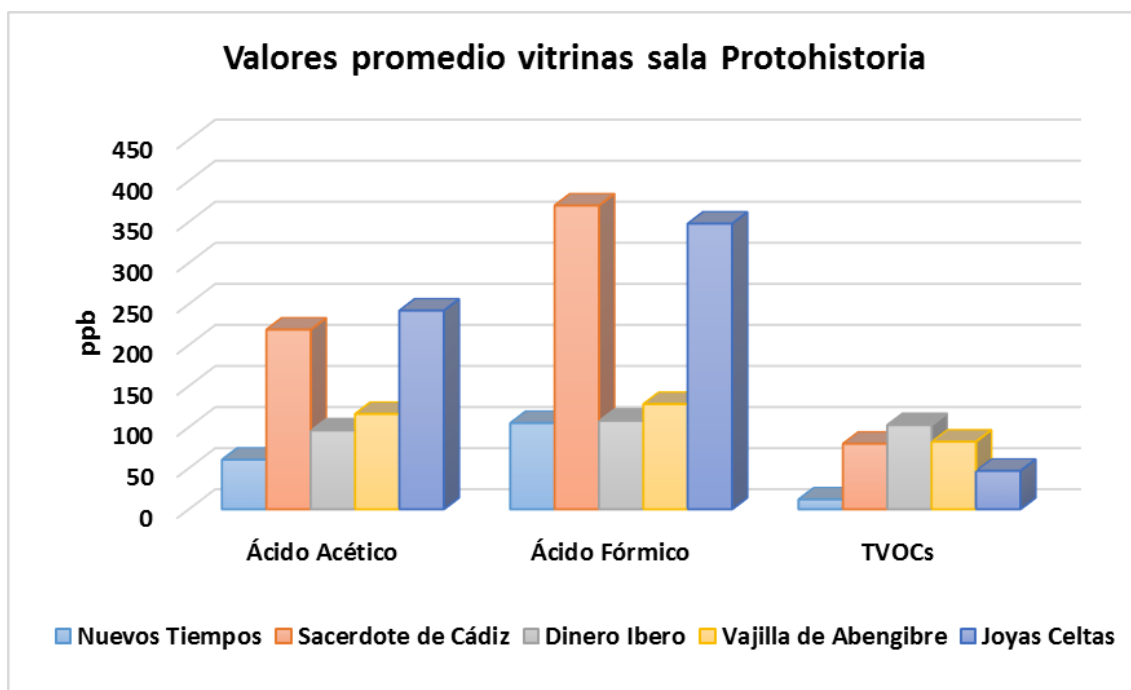


Figura 3.44: Valores promedios de concentración obtenidos para las vitrinas de la sala de Protohistoria.

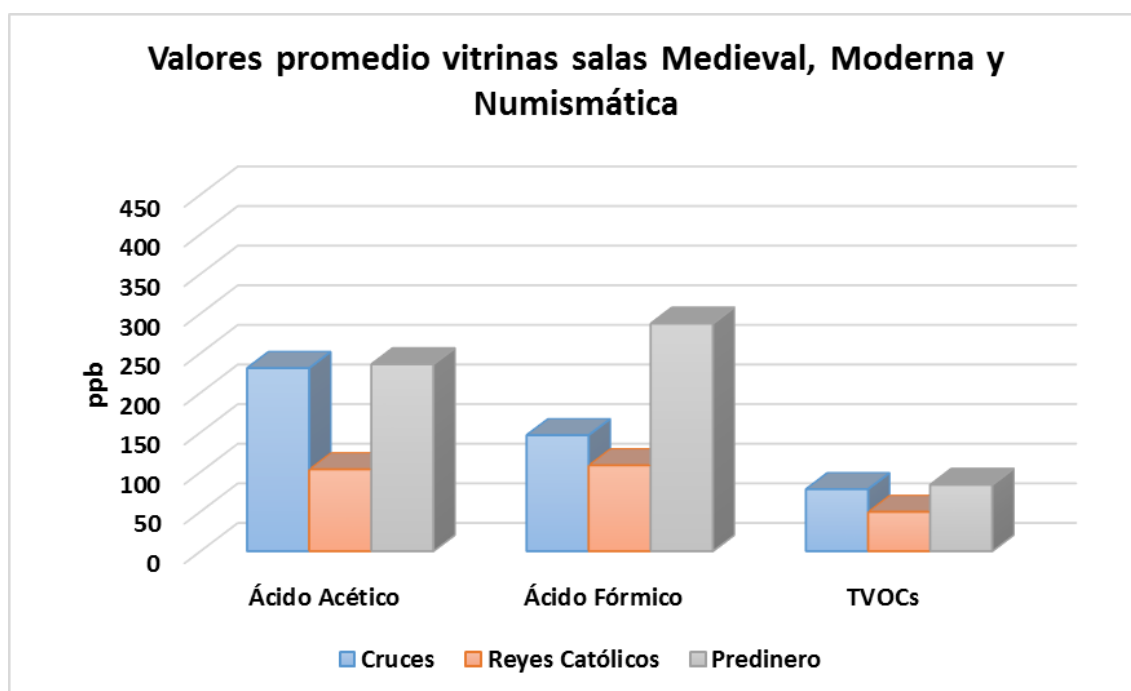


Figura 3.45: Valores promedio de concentración obtenidos para las vitrinas de las salas de Medieval, Moderna y Numismática.

Por lo tanto, se constata la presencia de estos contaminantes (ácido acético, ácido fórmico y formaldehído) en el interior de las vitrinas de nueva generación del MAN. Sin embargo, los valores han resultado estar por debajo de los límites de susceptibilidad. Los valores más elevados se han dado en las vitrinas de menores dimensiones, donde la relación entre el volumen y los materiales de conformación de la vitrina es menor. Débilmente significativa es la presencia de ácido acético que en ninguna vitrina alcanzan valores considerados perjudiciales para las obras de arte. Este hecho refuerza la necesidad de estudiar las concentraciones de VOCs y su puesta en relación con los materiales expuestos en el museo. En nuestro caso, este estudio se realiza en esta tesis con pigmentos, trabajo descrito en el capítulo 4.

### 3.6. Estudio de la temperatura y la humedad relativa

Con objeto de determinar la influencia de la temperatura y humedad relativa sobre los VOCs identificados, se han evaluado estas variables en relación con los valores obtenidos en una vitrina representativa de cada sala.

La figura 3.46 corresponde a la sala de Protohistoria, dicha sala se encuentra en la primera planta del museo, mientras que, las figuras 3.47 a 3.49 corresponden a las salas localizadas en la segunda planta del museo, Egipto, Medieval y Moderna respectivamente.

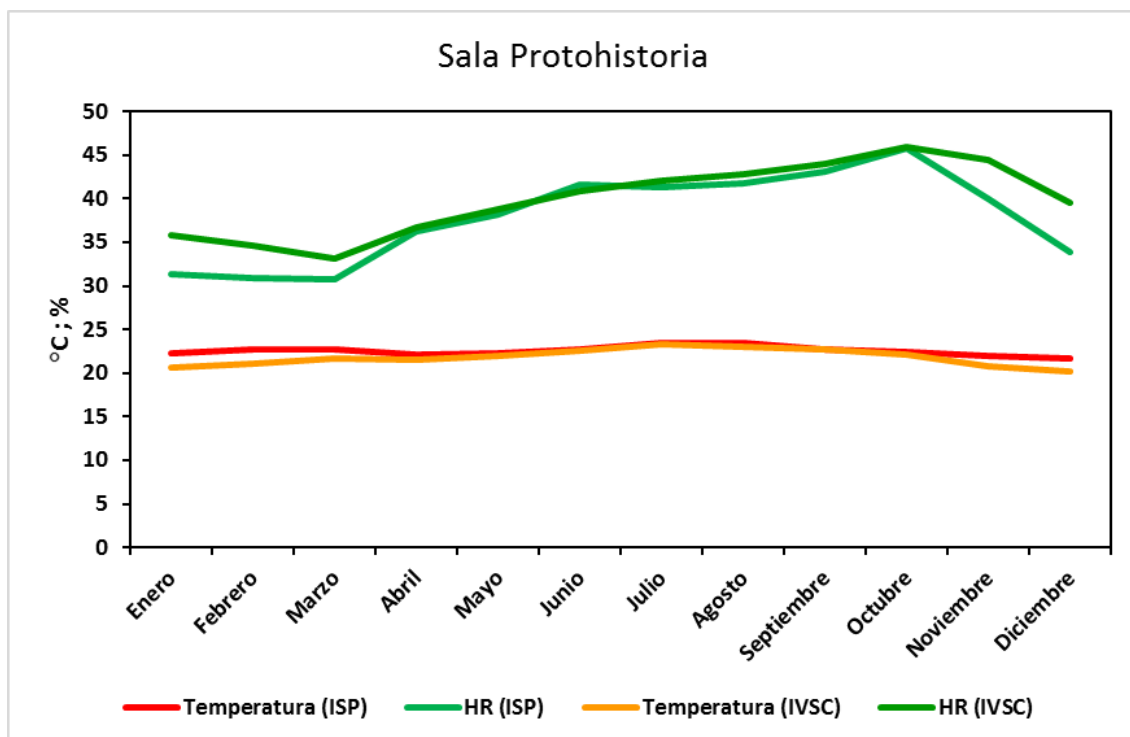


Figura 3.46: Valores promedio de la temperatura y la humedad relativa durante el periodo 2014-2017 para el interior de la sala de Protohistoria (ISP) y el interior de la vitrina del sacerdote de Cádiz (IVSC).

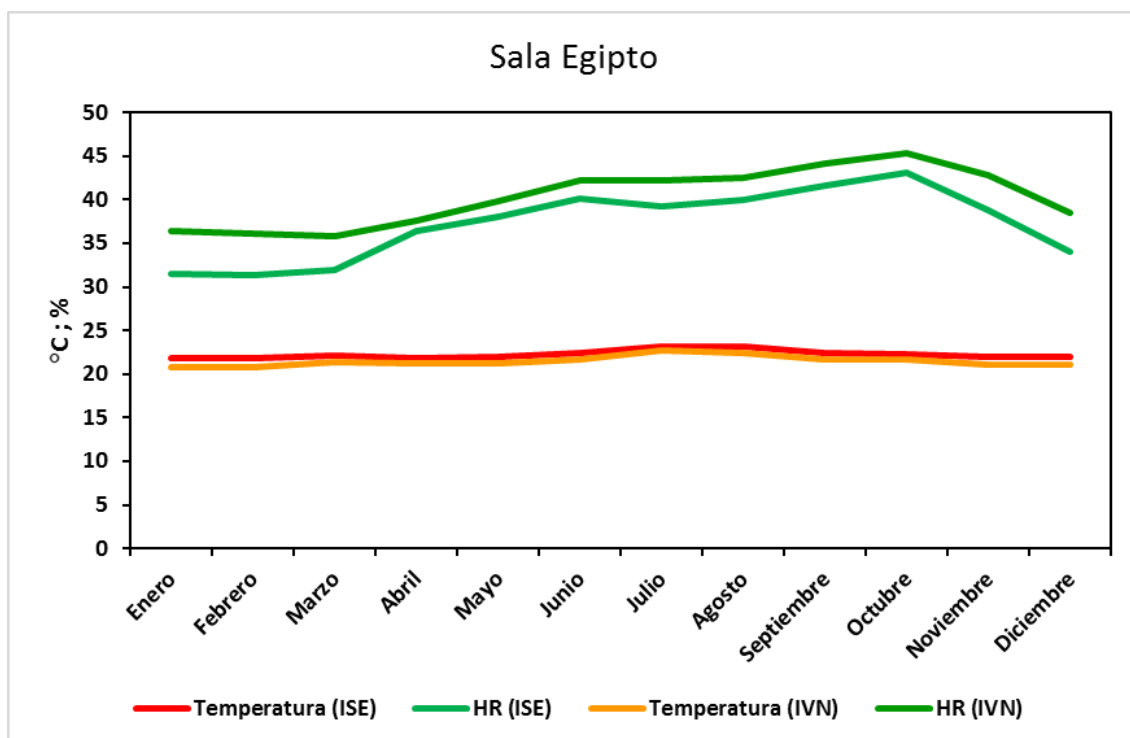


Figura 3.47: Valores promedio de la temperatura y la humedad relativa durante el periodo 2014-2017 para el interior de la sala de Egipto (ISE) y el interior de la vitrina de Nespamedu (IVN).

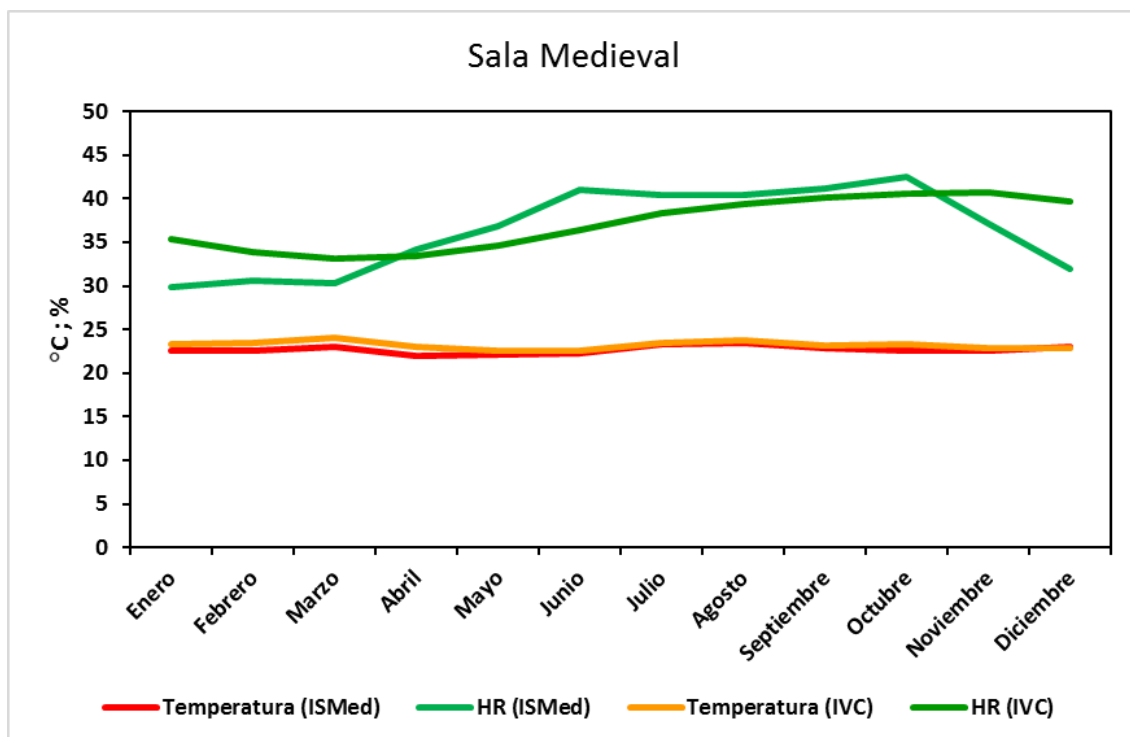


Figura 3.48: Valores promedio de la temperatura y la humedad relativa durante el periodo 2014-2017 para el interior de la sala de Medieval (ISMed) y el interior de la vitrina de las Cruces (IVC).

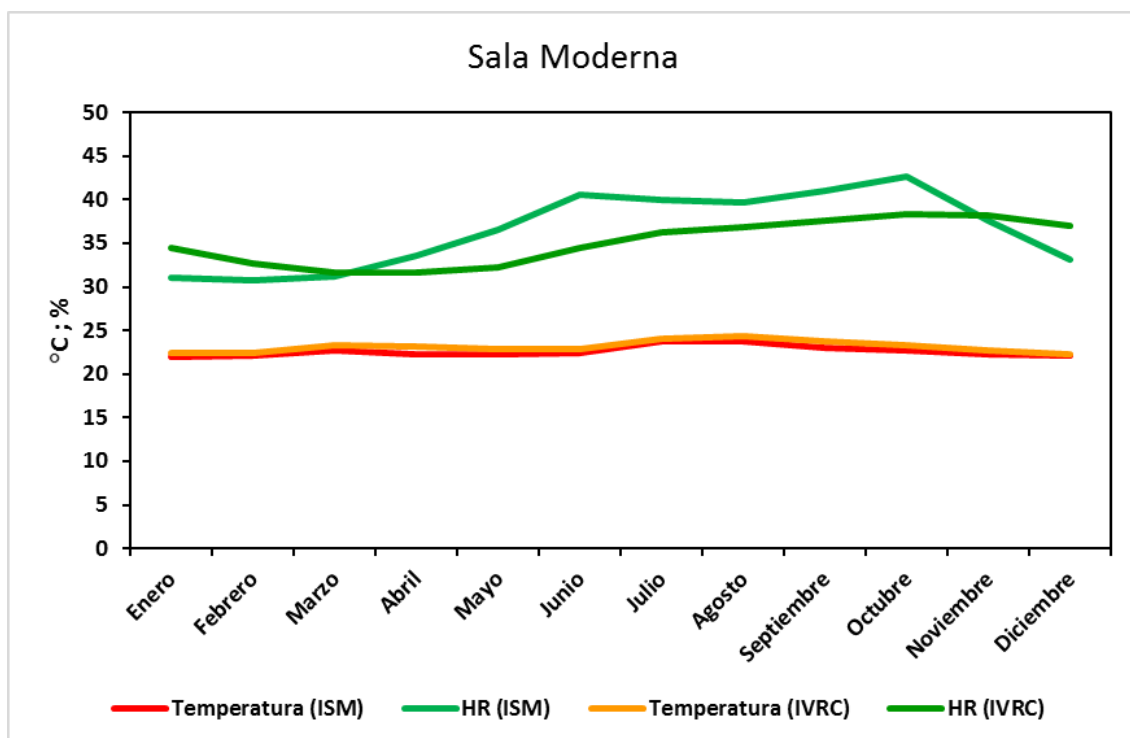


Figura 3.49: Valores promedio de la temperatura y la humedad relativa durante el periodo 2014-2017 para el interior de la sala de Moderna (ISM) y el interior de la vitrina de Reyes Católicos (IVRC).

Mientras que la temperatura en el interior de las vitrinas se ha mantenido prácticamente constante, la humedad relativa fluctúa hasta un 10 %. Si bien, las variaciones de humedad han podido deberse a una mayor dificultad en su control. Ya sea por el tamaño de las vitrinas y/o

los materiales de las piezas que en ellas se contienen. Se podría afirmar que estas variables no han influido de forma notable en la concentración de los contaminantes.

### 3.7. Correlación entre los muestreos activos y pasivos.

En el capítulo 2 se han descrito tanto los muestreos activos como los muestreos pasivos. Ambos tipos se han empleado en el MAN. Para la caracterización de los distintos ambientes en el museo, no siempre ha sido posible introducir un dispositivo para trabajar de manera forzada, ya sea por las dimensiones del dispositivo y la vitrina, por la susceptibilidad de la obra a las vibraciones y/o que el ruido y el proceso de trabajo perturbe el funcionamiento habitual del museo. Es por ello que emplear ambos tipos de muestreos, e incluso simultanearlos, ha permitido observar su correlación y extraer las ventajas de ambos.

Como se observa en la figura 3.50, se han realizado muestreos simultáneos (activos y pasivos) de aire interior en las salas de Egipto, Medieval y Protohistoria del MAN.



Figura 3.50: Tomas de muestras activas (imágenes superiores) y pasivas (imágenes inferiores) en diferentes vitrinas del MAN.

Para los muestreos activos se han empleado tubos Tenax TA® acoplados a bombas de succión Gilian AirPlus calibradas a 200 ml/min. El tiempo de toma de muestra ha sido de 1 h. Para los pasivos se han colocado los tubos Tenax TA® sobre las vitrinas de interés de las salas descritas y se ha dejado que el aire fluyese de forma natural a su través. En este caso, el tiempo de toma de muestra ha sido de 7 días (168 h) de acuerdo con las recomendaciones de la EPA (U.S EPA, 2014) para este tipo de muestreo. Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 3.51 a 3.53.



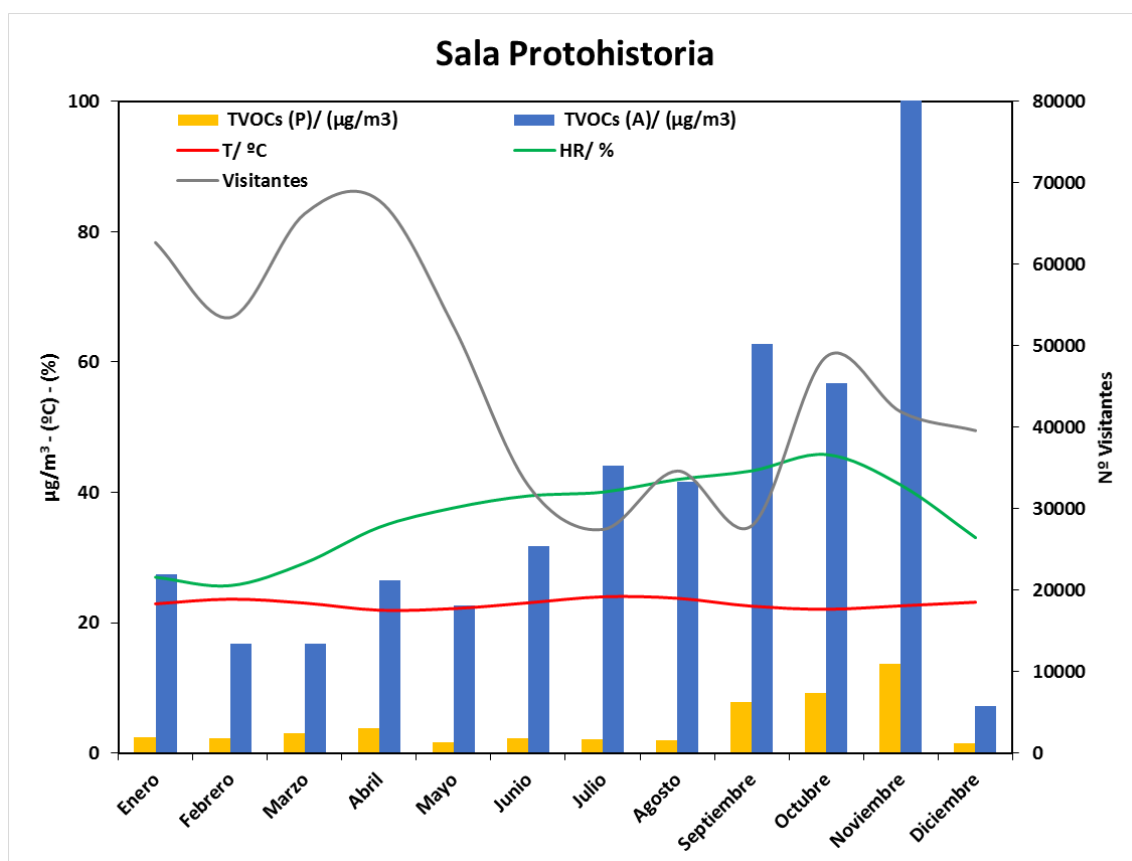


Figura 3.51: Resultados obtenidos en los muestreos pasivos (P) y activos (A) para la sala de Protohistoria en 2015.

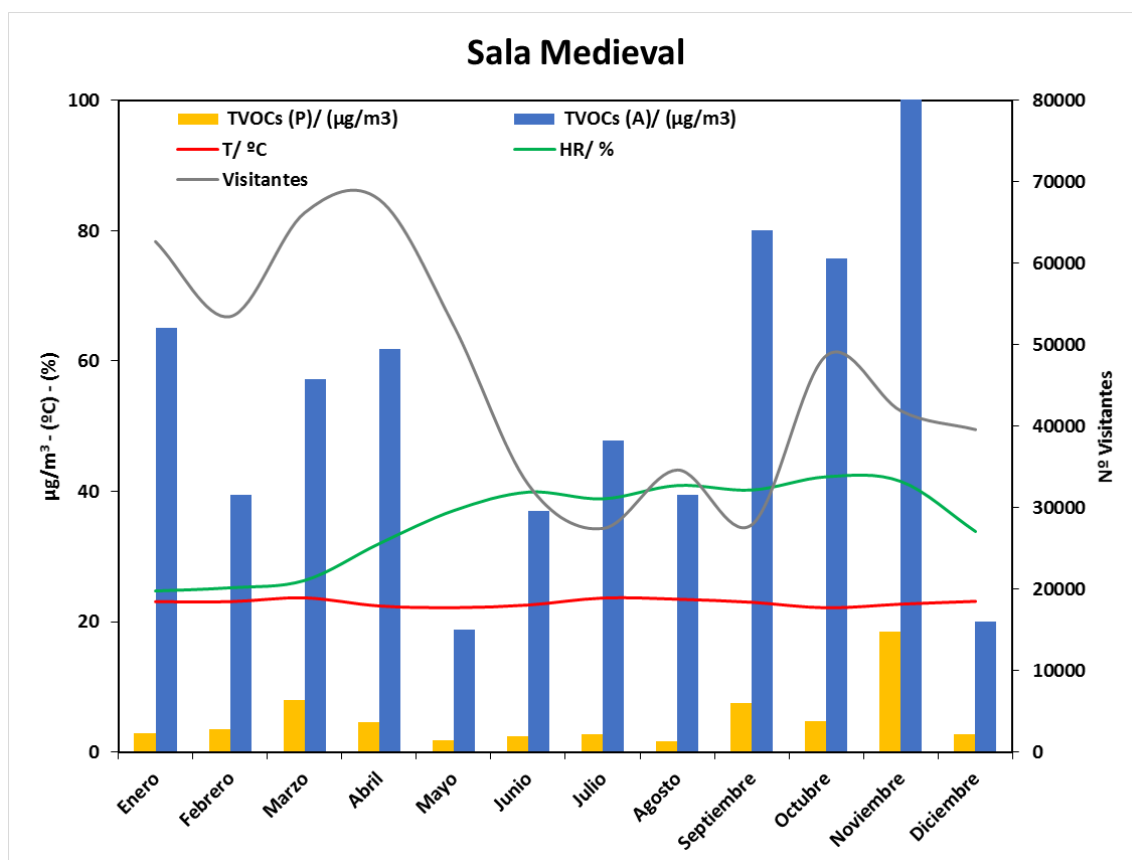


Figura 3.52: Resultados obtenidos en los muestreos pasivos (P) y activos (A) para la sala de Medieval en 2015.

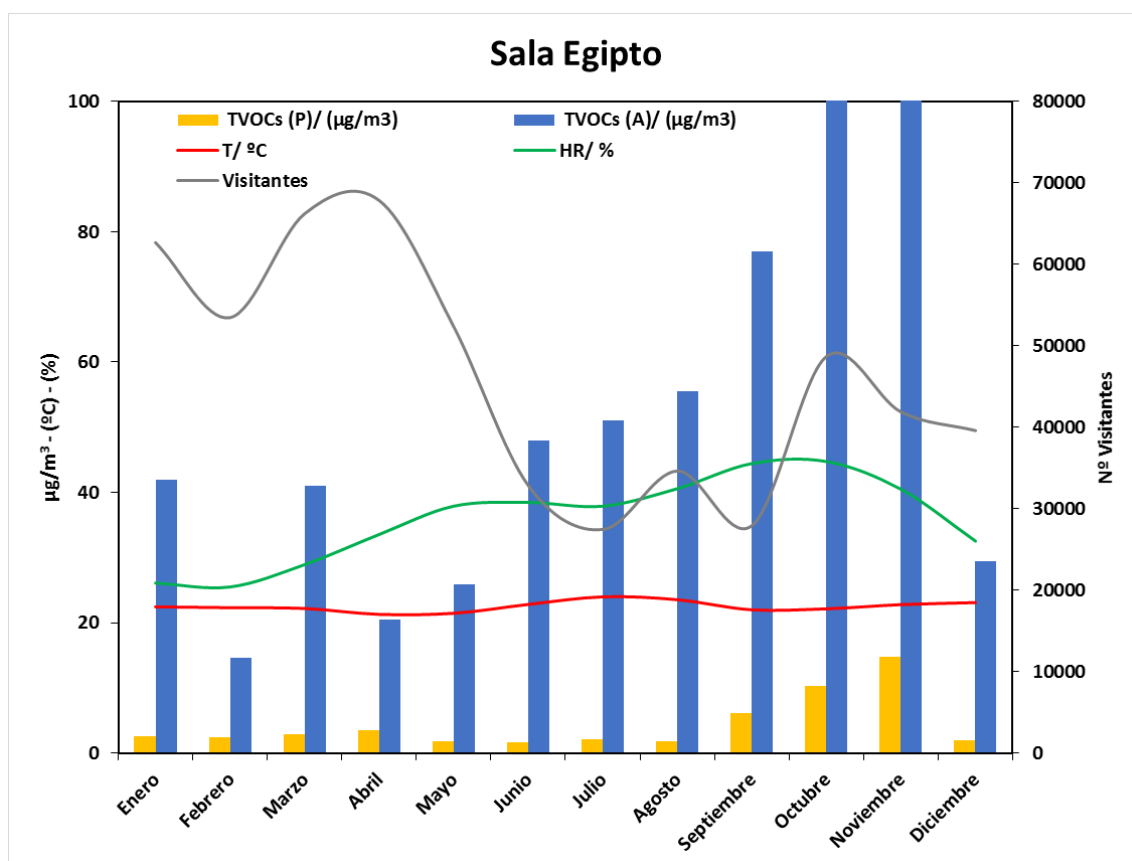


Figura 3.53: Resultados obtenidos en los muestreos pasivos (P) y activos (A) para la sala de Egipto en 2015.

Para realizar todos los estudios de correlación y poder comparar los resultados que se han obtenido de los muestreos activos y pasivos, se debe trabajar en las mismas unidades.

En el caso de los muestreos activos se determina el volumen de muestra que atraviesa el tubo ya que se utilizan bombas regulables y calibrables; por tanto, para muestreos a 200 ml/min de 60 min, el volumen de muestra ha sido de 12 l. Los valores de VOCs analizados por ATD-GC-MS se han obtenido en ng; al dividir estos ng por el volumen de aire de la muestra (12 l) se ha alcanzado la concentración de VOCs en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En el caso de los muestreos pasivos el aire no se ha forzado a pasar por el tubo, sino que se le ha permitido fluir de forma natural a su través, en este caso el volumen de aire es desconocido y, por tanto, se ha empleado la Ec. 3.1 para calcular la concentración de VOCs en el aire analizado.

$$C = M/(UR \times t) \quad \text{Ec. 3.1}$$

donde  $C$  es la concentración del VOC de interés en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $M$  es la masa del VOC retenido en el tubo de adsorbente en pg,  $UR$  es el *uptake rate* o también llamado razón de muestreo en ml/min, que es específico para cada VOC analizado, y  $t$  es el tiempo de muestreo en min.

El *uptake rate* (UR) tiene unidades de volumen/tiempo, pero no es un caudal, en realidad se puede definir como la equivalencia de caudal necesario que se diera en el caso de una muestra obtenida mediante muestreo activo para la adsorción de la misma masa del mismo VOC durante el mismo tiempo de toma de muestra. Depende de la geometría del dispositivo utilizado para la toma de muestra pasiva, del coeficiente de difusión del VOC y de las características del adsorbente empleado, y es por ello que se calcula de forma experimental.

Para este trabajo se han empleado los UR obtenidos en la bibliografía de autores como Walgraeve *et al.*, 2011a y b, que han llevado a cabo estos experimentos y cálculos. Otros se han extraído de las notas técnicas de las firmas comerciales de los tubos adsorbentes y las distintas agencias gubernamentales americanas e inglesas (U.S. EPA, 2014; HSE: MDHS 104, 2016; HSE: MDHS 96, 2000; HSE: MDHS 80, 1995).

Esto ha permitido obtener gráficas de correlación para cada VOC cuantificado, sin embargo, dado el volumen de gráficas, para simplificar el estudio, se ha sumado cada uno de los valores específicos obtenidos de todos los VOCs cuantificados en lo que se ha denominado TVOCs.

De esta forma, se ha podido llevar a cabo el estudio sobre la correlación que existe entre los resultados obtenidos para los distintos muestreos, como se observa en las figuras 3.54 a 3.56.

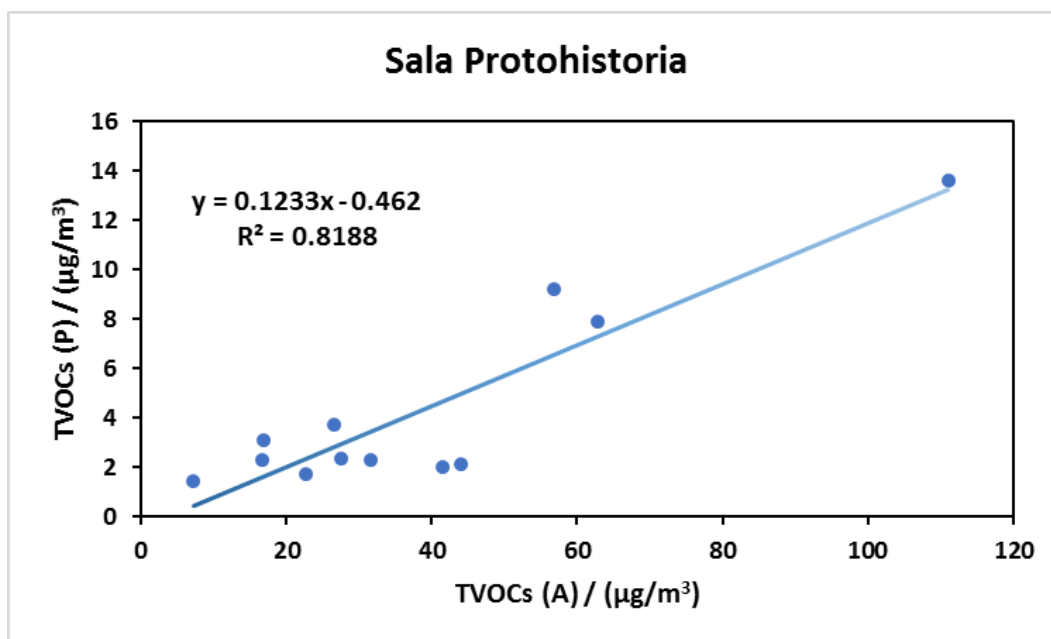


Figura 3.54: Correlación entre los muestreos activos (A) y pasivos (P) en la sala de Protohistoria.

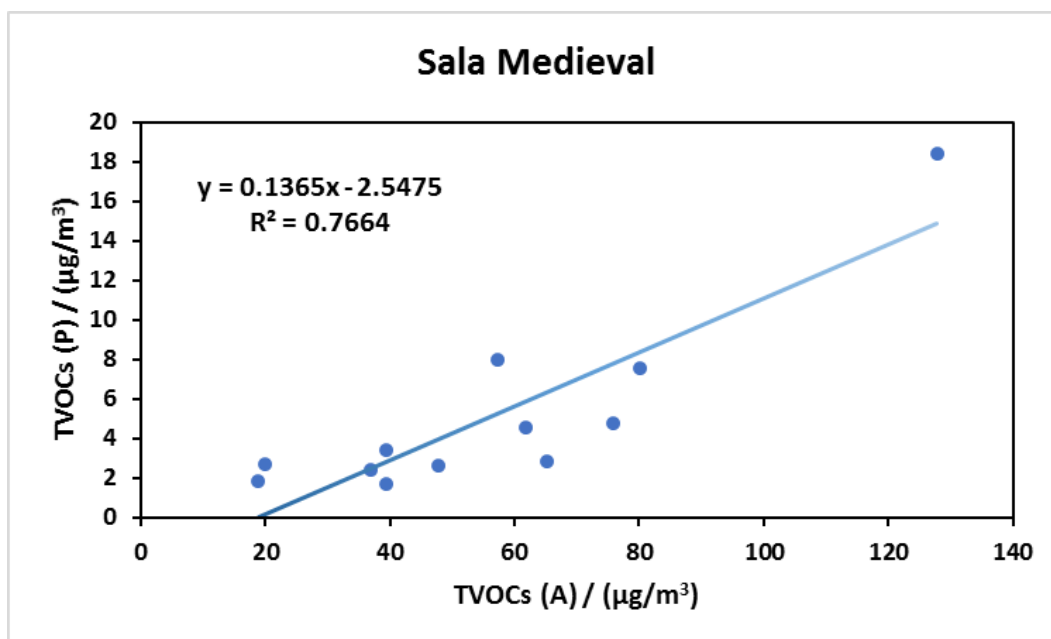


Figura 3.55: Correlación entre los muestreos activos (A) y pasivos (P) en la sala de Medieval.

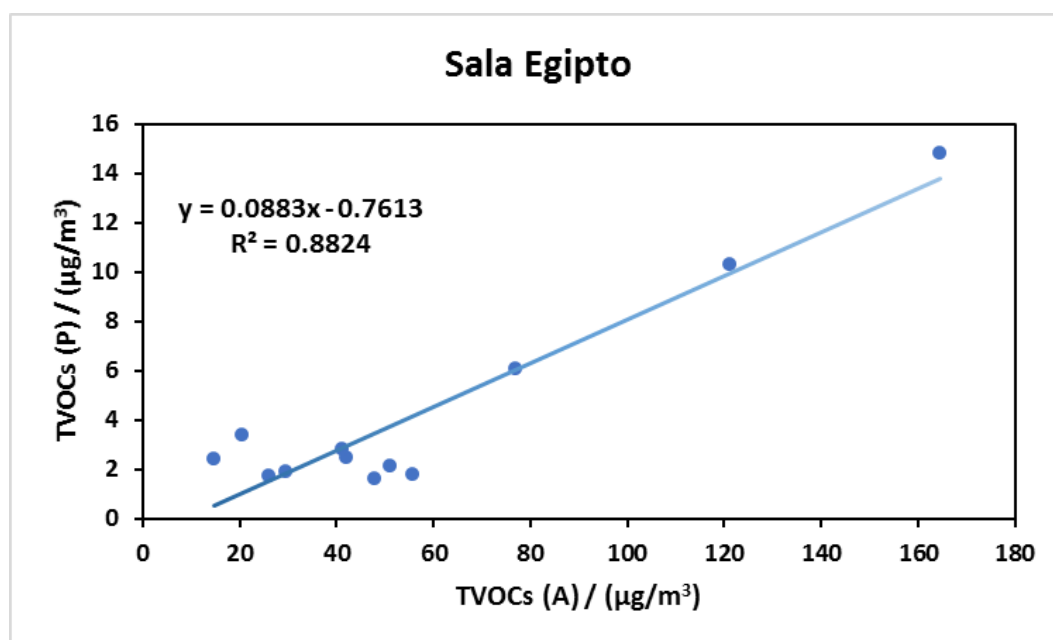


Figura 3.56: Correlación entre los muestreos activos (A) y pasivos (P) en la sala de Egipto.

En todos los casos se ha encontrado una correlación superior al 75 %, por lo que el uso tanto de uno u otro método de muestreo ha llevado a conclusiones similares. Sin embargo, hay que tener en cuenta que compaginar ambos métodos, siempre que sea viable, es la mejor alternativa para extraer la mayor información. Si bien un muestreo pasivo con largo tiempo de toma de muestra da lugar a medidas más robustas del aire interior. Esto hace que debido a la prolongada exposición, se pierda información sobre la variación de la concentración con el tiempo, lo que dificulta la identificación de las fuentes de emisión (U.S. EPA, 2014). La toma de muestra prolongada posee un mayor interés a la hora de compararse con los valores de exposición para prevención de riesgos sobre la salud (Johnston *et al.*, 2014; Luo *et al.*, 2012). En el caso de la toma de muestra activa, es posible evaluar la exposición de un VOC a lo largo del tiempo, obteniendo así más información sobre las fuentes de emisión.

# CAPÍTULO 4: INFLUENCIA DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN MATERIALES PICTÓRICOS

Con objeto de complementar los estudios de caracterización de los distintos ambientes del museo, se decidió estudiar la posible influencia de los VOCs sobre los materiales pictóricos propios del arte egipcio.

Para llevar a cabo este estudio ha sido necesario el trabajo de equipos multidisciplinares que han permitido el empleo de múltiples técnicas espectroscópicas de caracterización de materiales. Las interacciones de las distintas energías del espectro electromagnético con la materia proporcionan un amplio abanico de información. Dentro de este abanico encontramos información composicional, estructural, superficial o cinética entre otras.

Existen múltiples estudios centrados en los contaminantes que históricamente han sido evaluados en el ambiente de los museos (ácidos orgánicos y formaldehído). Sin embargo, la bibliografía al respecto de la influencia de los nuevos contaminantes de origen químico en este ambiente es escasa. Con este trabajo se ha tratado de buscar respuesta sobre la posible influencia de estos VOCs sobre el patrimonio artístico.

En este capítulo se describen los materiales pictóricos estudiados y su preparación, así como las distintas técnicas espectroscópicas empleadas para caracterización.

Además, se estudia la influencia que los VOCs mayoritarios descritos en el capítulo anterior tienen sobre ellos. El objetivo principal ha sido entender si las atmosferas a que están expuestas las obras de arte son seguras para ellas mismas con objeto de prevenir su posible daño.

## 4.1. Caracterización de materiales pictóricos de origen histórico

Para el estudio de materiales pictóricos de origen histórico se han empleado, tanto modelos preparados en los laboratorios del CIEMAT, como muestras reales pertenecientes a la colección permanente del Museo Arqueológico Nacional (MAN).

A partir de la colaboración mantenida en el proyecto AIRARTE entre CIEMAT y el MAN, este museo solicitó y obtuvo financiación europea a través del Programa IPERION CH con objeto de disponer de los ensayos no destructivos especializados en materiales artísticos y arqueológicos de laboratorios móviles que forman parte de dicho Programa. De esta forma se han podido llevar a cabo análisis en piezas reales empleando técnicas no destructivas portables.

En este caso, del consorcio de 24 colaboradores europeos y estadounidenses, se desplazaron tres equipos al MAN:

- National Research Council of Italy (CNR): compuesto para este proyecto por las doctoras Costanza Miliani, Francesca Rosi y Laura Cartechini.
- Scientific Methodologies applied to Archaeology and Art (SMAArt) University of Perugia (UniPG): formado por el doctor Aldo Romani y la doctora Chiara Grazia.
- Center for the research on the conservation of collections (CRCC): en cuyo equipo se encontraban las doctoras Christine Andraud, Anne Michelin y Aurélie Tournié.

De esta forma surgió el proyecto de colaboración PEMAN, en el cual se han analizado 5 piezas pertenecientes al Departamento de Egipto del MAN, empleando las siguientes técnicas: UV-Vis-NIR, FTIR, FRX y RAMAN.

Estas técnicas han permitido caracterizar las policromías de las piezas egipcias que se encuentran expuestas en el museo y seleccionar los pigmentos y aglutinantes a evaluar en los ensayos de laboratorio cuyos resultados se exponen a lo largo de este capítulo.

Las obras expuestas en el MAN, al igual que en cualquier otro museo del mundo, poseen un alto valor, a nivel artístico, arqueológico e histórico, y son claramente insustituibles. Por estos motivos se han empleado técnicas de análisis no destructivos, en las cuales no ha sido necesaria una toma de muestra y por tanto no se ha producido ningún tipo de alteración o invasión en la pieza.

Estas técnicas son siempre la primera opción a la hora de estudiar piezas de patrimonio artístico. Este tipo de tecnologías se enfocan hacia la obtención de la mayor información posible, ya sea sobre la composición química de los materiales, las técnicas empleadas por los artistas o sus posibles procesos previos de restauración, etc, con la mínima invasión.

Sin embargo, no siempre es posible obtener toda la información necesaria por medio de análisis no destructivos, y normalmente éstos deben complementarse con algún análisis destructivo. Es por ello, que algunos estudios se han desarrollado también en laboratorio para garantizar la mayor información posible de los estudios que se han realizado y evitar la toma de muestra en piezas únicas e irremplazables (Romero-Pastor *et al.*, 2013; Masciotta *et al.*, 2016; Pozo-Antonio *et al.*, 2018). Aunque haya trabajos evaluando la presencia de contaminantes en el aire y su influencia sobre las obras de arte, resulta difícil encontrar estudios sobre las modificaciones relacionadas directamente con la presencia de VOCs en el aire. Así, en este trabajo se ha optado por complementar estudios de caracterización no destructivos en el museo, con ensayos de exposición de modelos pictóricos (pigmentos) a diferentes concentraciones de VOCs. Así se ha podido estudiar el efecto de los VOCs sobre estos materiales a largo plazo sin exponer las obras.

Los modelos pictóricos se han generado en el laboratorio, empleando las técnicas y materiales adecuados a la época de los objetos reales del estudio para poder observar los efectos sobre los pigmentos por medio de exposición directa a contaminantes. Estos modelos pueden someterse a experimentos y técnicas de caracterización más agresivas, con la tranquilidad de preservar las obras originales inalteradas, y han permitido así complementar la información obtenida por los análisis no destructivos.

A continuación, se expone una descripción de las técnicas de caracterización utilizadas en los estudios realizados en el museo y en el laboratorio, además de las descripciones y resultados de dichos estudios.

## 4.2. Espectroscopia UV-Vis (UV-Vis)

Esta técnica implica la espectroscopia de fotones en la región de radiación del UV-Vis 400 - 700 nm, como se observa en la figura 4.1. En esta región del espectro electromagnético, las moléculas se someten a transiciones electrónicas desde el estado fundamental al excitado.

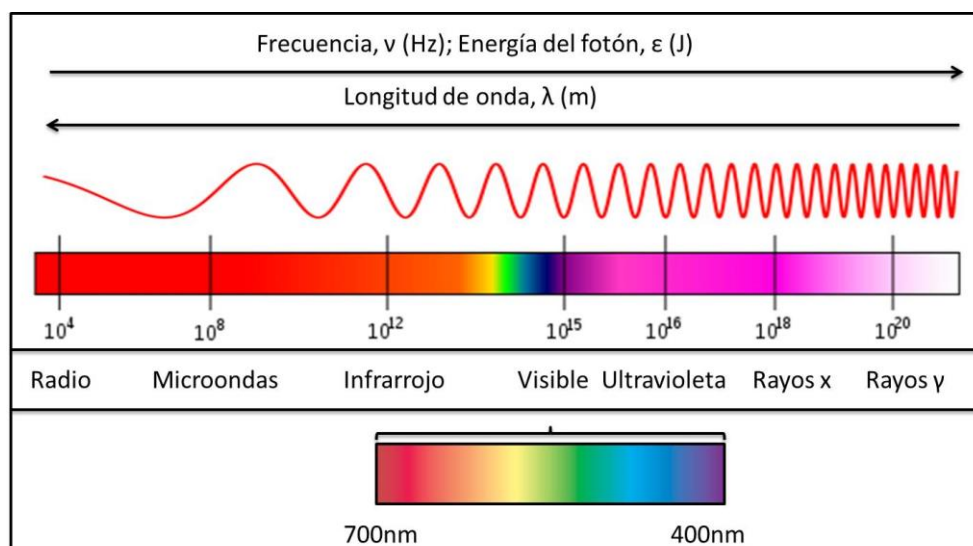


Figura 4.1: Espectro electromagnético con sus distintas regiones.

Se emplea habitualmente en la determinación cuantitativa de soluciones de iones metálicos de transición y compuestos orgánicos muy conjugados. Sin embargo, en este caso se ha empleado para realizar medidas de reflectancia en sólidos. Se trabaja con muestras sólidas y se estudia el cambio de color por medio de la reflexión difusa, cuyo espectro resultante es el porcentaje de reflexión que la radiación produce en la muestra frente a la longitud de onda. Para poder comparar los espectros de absorción con estos, se ha empleado la transformación de Kubelka-Munk (Ec. 4.1)

$$F(R_{\infty}) = \frac{k}{s} = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde  $R_{\infty}$  es la reflectancia de la muestra cuando se mide a una distancia de penetración infinita,  $k$  el coeficiente de absorción y  $s$  el coeficiente de dispersión.

En el caso de los modelos estudiados en laboratorio, esta técnica se ha usado para determinar si existen variaciones de color en los materiales artísticos evaluados.

Los espectros de reflectancia difusa de los pigmentos estudiados en laboratorio se han obtenido en un espectrómetro de doble haz UV-Vis PerkinElmer Lambda 650 UV/Vis, equipado con un accesorio de reflectancia difusa y una esfera integradora de 150 mm. Los espectros se han registrado entre 190 - 900 nm de longitud de onda con un intervalo de paso de 2 nm, una velocidad de barrido de 480 nm/min y un tiempo de respuesta de 0,20 s.

Para las piezas reales analizadas *in situ* en el MAN se ha utilizado un prototipo diseñado por Romani *et al.*, 2011 equipado con lámparas de halógeno-deuterio cuya emisión va desde 200 a 1.100 nm para las medidas de reflectancia y con una fuente de emisión láser Nd:YAG a 532 nm para las medidas de fluorescencia. Se usaron espectrómetros CCD para las medidas de



reflectancia (Avaspec 2048 USB2, en un rango de 200 - 1.100 nm con una resolución de 8 nm) y fluorescencia (Avaspec 2048 USB1, en un rango de 200 - 1.100 nm con una resolución de 25 nm).

### 4.3. Espectroscopia IR por TF (FTIR)

Esta técnica permite observar las transiciones que se producen entre estados energéticos vibracionales en el nivel electrónico fundamental al irradiar una muestra con radiación infrarroja (comprendida entre 200 - 7.500  $\text{cm}^{-1}$ ).

Una molécula absorberá la energía de un haz infrarrojo cuando dicha energía incidente sea igual a la necesaria para que se dé una transición vibracional de la molécula. Para que se produzca la absorción cuando tiene lugar la vibración, la molécula tiene que experimentar un cambio en su momento dipolar. Prácticamente, todas las sustancias absorben en el infrarrojo, excepto las moléculas monoatómicas y homopolares. Y en las moléculas lineales, como es el caso del  $\text{CO}_2$ , sólo son activas en el infrarrojo las tensiones asimétricas.

Esta técnica es sensible a la presencia de los grupos funcionales presentes en las moléculas, por lo que permite la identificación de especies químicas. Por otro lado, la intensidad de una banda de absorción es una medida de la probabilidad de la transición vibracional y depende de la magnitud del cambio en el momento dipolar.

Se puede analizar la transmisión de muestras sólidas, líquidas y gaseosas. La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) se basa en la interferencia entre dos haces de radiación. Es la más empleada ya que reduce el tiempo de adquisición y mejora la relación señal/ruido respecto a la espectroscopia convencional dispersiva.

En este trabajo para los análisis realizados en los modelos pictóricos, se ha empleado un espectrómetro FTIR Thermo-Nicolet 5700, equipado para la medida de muestras sólidas por transmisión. Para ello ha sido necesario la preparación de pastillas de KBr + pigmento (figura 4.2).

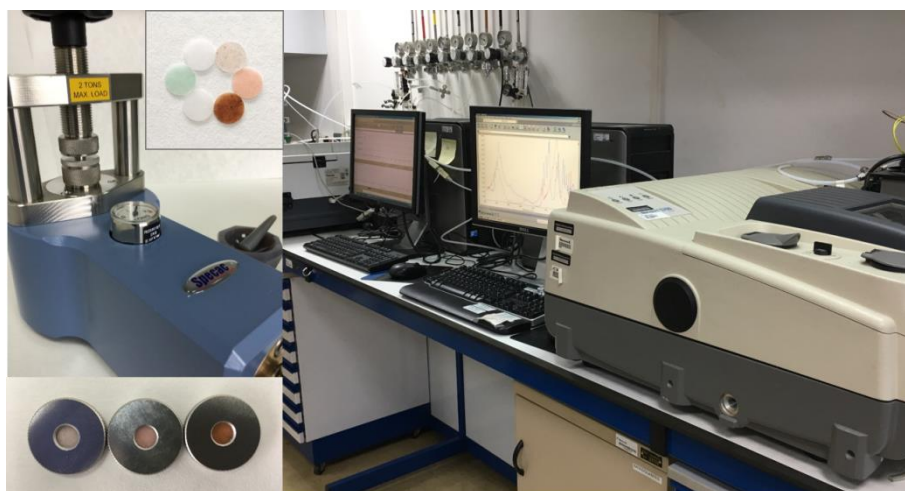


Figura 4.2: A la izquierda de la imagen se observan la prensa, los porta muestras y las muestras preparadas para medir en el equipo de FTIR por transmisión que se observa a la derecha de la imagen del laboratorio FotoAir del CIEMAT.

En el caso de los análisis realizados a muestras *in situ* se ha usado un espectrómetro FTIR compacto y portable JASCO VIR 9500. Los espectros han sido adquiridos en el rango de 7.000 - 900  $\text{cm}^{-1}$  con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$  y un promedio de 400 escaneos.

### 4.4. Difracción de Rayos X (XRD)

La difracción de rayos X de muestras en polvo es una técnica muy útil para la caracterización estructural de materiales con un cierto grado de cristalinidad, ya que cada sustancia cristalina presenta un patrón único de difracción.

La técnica se fundamenta en el hecho de que en un cristal los átomos se ordenan de forma periódica en las tres direcciones del espacio y que la distancia entre ellos es del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de los rayos X.

Por tanto, cuando los rayos X inciden en la muestra cristalina se genera un patrón de interferencias, denominado difracción, que contiene la información estructural de la muestra. Mediante la *Ley de Bragg* (Ec. 4.2) se puede llevar a cabo el cálculo de los espaciados interplanares correspondientes a los principales picos de difracción detectados.

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde  $\lambda$  se define como la longitud de onda de la fuente de rayos X,  $d$  es la distancia interplanar,  $n$  es un número entero que representa el orden de difracción y  $\vartheta$  es el ángulo al que aparece el máximo de difracción (Suryanarayana y Grant Norton, 1998).

El difractograma de una muestra polifásica es la superposición de los difractogramas de cada una de las fases cristalinas presentes. Comparando las posiciones e intensidades de los máximos de difracción con las de los patrones estándar de la base de datos del International Center for Diffraction Data (ICDD) se pueden identificar las fases cristalinas presentes y a partir del área bajo los picos estimar la proporción entre ellas.

La difracción de rayos X se ha empleado con los modelos pictóricos, al tratarse de una técnica destructiva. Los difractogramas aquí presentados se han obtenido con un difractómetro de rayos X PANanalytical X PERT. Los análisis realizados con este equipo se han llevado a cabo por el laboratorio de rayos X de la unidad de Espectroscopia perteneciente a la División de Química del CIEMAT, y para su interpretación se ha contado con la colaboración de la doctora María Belén Gómez, miembro de dicha unidad.

### 4.5. Fluorescencia de Rayos X (XRF)

La fluorescencia de rayos X es una técnica espectroscópica de gran sensibilidad y selectividad, con un amplio intervalo lineal, que permite determinar un amplio número de elementos de forma tanto cualitativa, semicuantitativa como cuantitativa. Para ello esta técnica utiliza la emisión secundaria o fluorescencia generada en una muestra cuando se excita con rayos X.

Cuando se irradia una muestra con rayos X se produce la excitación de los electrones internos de los átomos al estado excitado. Los estados excitados son inestables; esto genera una transición de los estados excitados al fundamental de los electrones del átomo desde el exterior al interior. Durante este proceso hay un desprendimiento de energía en forma de radiación cuya longitud de onda es función de la diferencia de energía entre los dos niveles involucrados en la transición. La base de la fluorescencia de rayos X es la medida de dicha radiación. Cada elemento posee un espectro de emisión característico y la intensidad de la señal fluorescente es proporcional a la concentración de cada elemento (Brouwer, 2006).

El equipo utilizado para los análisis de los modelos ha sido un espectrómetro PANanalytical axios, equipado con un ánodo de rodio y una ventana frontal de 4 kW. El generador de rayos X ha operado a 20 kV y 50 mA para los elementos ligeros (Na, Mg, Al, P y S) y a 50 kV y 20 mA para el resto de los elementos.

Estos análisis se han realizado en el laboratorio de rayos X de la unidad de Espectroscopia perteneciente a la División de Química del CIEMAT.

Por otro lado, los análisis *in situ* se han realizado con un equipo portable de XRF que consiste en una fuente de rayos X (EIS s.r.l. P/N 9910), equipado con un filamento de W y un detector con drift de Si y trampa fría (Peltier), cuya resolución es de 130 eV FWHM a 5.9 keV.

### 4.6. Espectroscopia Raman (Rm)

Esta técnica espectroscópica se basa en el efecto Raman. Este efecto es un fenómeno de dispersión de la luz. Para explicar el efecto Raman debemos considerar la radiación electromagnética como partícula. Cuando un fotón interactúa con una molécula, este puede ser dispersado de tres formas distintas (figura 4.3):

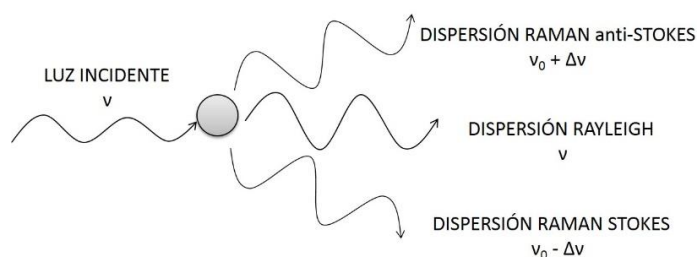


Figura 4.3: Esquema de los tres tipos de luz dispersada.

- Dispersión elástica: el fotón emitido posee la misma longitud de onda que el fotón incidente. Esta dispersión también se conoce como dispersión Rayleigh.
- Dispersión inelástica: hay un cambio en la frecuencia entre el fotón emitido y el incidente. En este caso el cambio puede deberse a que el fotón ceda energía a la molécula, por tanto, la energía dispersada es menor a la energía incidente, es lo que se denomina dispersión Stokes. Cuando el fotón obtenga energía de la molécula, por tanto, la energía dispersada será mayor a la energía incidente, que es el efecto contrario al anterior, se denomina dispersión Anti-Stokes. El desplazamiento en la frecuencia corresponde a energías vibracionales, rotacionales o de transiciones electrónicas de la molécula.

Es la luz dispersada inelásticamente la que se denomina dispersión Raman. La dispersión Raman comprende una fracción muy pequeña de los fotones incididos y la región espectroscópica en la que se observa, depende de la energía de la radiación incidente y la energía de los niveles moleculares involucrados en el desplazamiento. Para que una vibración sea activa en Raman, la polarizabilidad de la molécula debe cambiar con el movimiento vibracional. Tanto la espectroscopia IR como la de Raman miden energías vibracionales, pero basadas en diferentes reglas de selección, siendo así dos técnicas complementarias (Chantry *et al.*, 1964; Hirschfeld *et al.*, 1986).

La espectroscopia Raman se ha empleado para los análisis *in situ* de muestras reales en el MAN. Para ello se ha usado un instrumento portátil micro-Raman equipado con un láser de diodo que emite a 785 nm o 1.064 nm. La radiación del láser se enfoca a través de una fibra óptica de 100 µm de diámetro hacia un JASCO RMP-100 micro-probe equipado con un objetivo Olympus (50x o 20x). Posee una resolución espectral de 8 cm<sup>-1</sup> y el contacto de láser máximo a la superficie se mantuvo a 10 mW.

#### 4.7. Caracterización “in situ” – proyecto PEMAN – selección de los pigmentos objeto de estudio:

Como se ha explicado anteriormente, en colaboración con el MAN se solicitó y se obtuvo financiación europea a través del proyecto europeo IPERION con objeto de poder disponer de los ensayos no destructivos especializados en materiales artísticos y arqueológicos, de los grupos de laboratorios móviles que forman parte de dicho proyecto.

De esta forma ha surgido el proyecto de colaboración MAN-CIEMAT denominado PEMAN, en el cual se han analizado 5 piezas del departamento de Antigüedades Egipcias y del Oriente Próximo expuestas en el MAN (figura 4.4), por UV-VIS-NIR, FTIR, XRF y RAMAN. La tabla 4.1 muestra la longitud de onda en metros en la cual trabaja cada espectroscopia.

Tabla 4.1: Longitud de onda en metros que abarcan las técnicas espectroscópicas empleadas.

Espectroscopia	$\lambda$ (m)
Rayos X (RX)	10 <sup>-12</sup> hasta 10 <sup>-8</sup>
Ultravioleta-Visible (UV-Vis)	10 <sup>-8</sup> hasta 10 <sup>-6</sup>
Infrarrojo (IR)	10 <sup>-6</sup> hasta 10 <sup>-3</sup>

Estas 5 piezas seleccionadas por Carmen Pérez Díe (Conservadora jefa del Dpto de Egipto y del Oriente Próximo) por su riqueza cromática y valor histórico han sido dos ataúdes pertenecientes a la dinastía XXI, dos máscaras funerarias, una de la época Ptolemaica y otra de la dinastía XXVI y una caja de ushebits de la dinastía XIX. Todas ellas compuestas de madera o cartonajes policromados.



Figura 4.4: Piezas del departamento de Antigüedades Egipcias y del Oriente Próximo del MAN seleccionadas para el análisis de las policromías por ensayos no destructivos durante los trabajos del proyecto PEMAN.

Durante 4 días de intenso trabajo, se han llevado a cabo los análisis de las distintas piezas con cada una de las técnicas solicitadas en el proyecto. En la figura 4.5 se observan investigadores de proyecto IPERION junto a conservadores del MAN durante los trabajos que se han realizado.

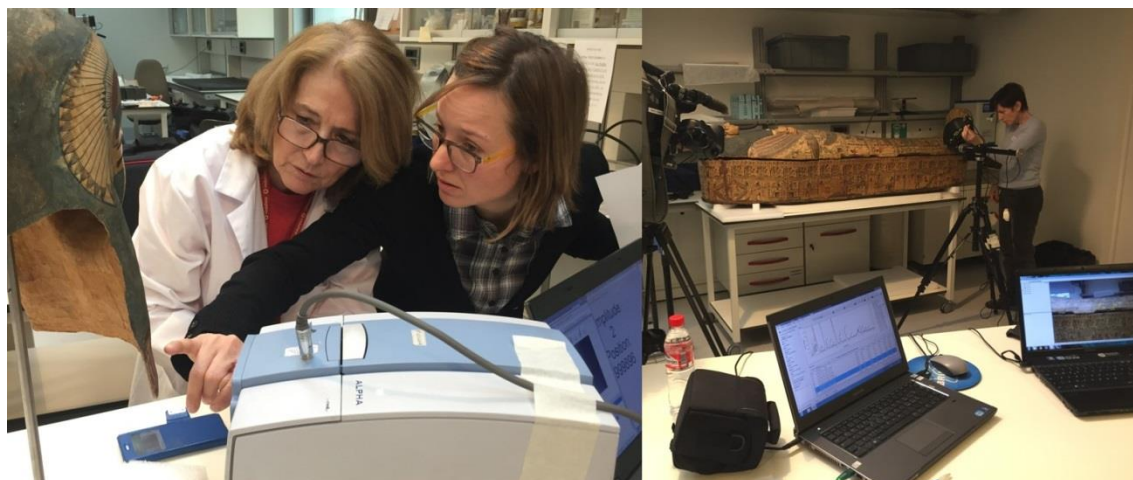


Figura 4.5: A la izquierda de la figura la Dra. Rosi junto con la jefa del departamento de Egipto del MAN, Carmen Pérez Díe, realizando medidas de MIR a una de las máscaras y a la derecha la Dra. Cartechini realizando medidas de XRF a uno de los ataúdes.

Los resultados obtenidos de dicho trabajo se describen a continuación:

### Caja de Ushebtis

*Caja de ushebtis de Khaabekhent, servidor en la estancia de la verdad.* Caja para guardar ushebtis. Ushebti es un término egipcio que significa “los que responden”. Se trata de pequeñas estatuas que, en el Antiguo Egipto, se depositaban en la tumba del difunto. La mayoría estaban hechas de cerámica, madera o piedra, aunque los más valiosos estaban tallados en lapislázuli. Su cometido en la religión y mitología egipcia era servirle al difunto en el



más allá, ya que los egipcios pensaban que los espíritus de estas estatuillas trabajarían para ellos en la otra vida (Castel, 2013).

Esta caja posee doble tapadera en forma semicircular, que se interpreta por algunos autores como una réplica de la doble capilla del Bajo Egipto, cuyas bóvedas están flanqueadas por altos muros laterales (DOMUS 15222). Se trata de una caja de madera policromada de 29,5 cm de altura, como se puede ver en la figura 4.6.



Figura 4.6: Caja de Ushebtis de Khaabekhent perteneciente a la colección permanente del MAN. En la imagen se señalan los puntos de análisis: M en rojo análisis MIR, X en amarillo análisis XRF, Rm en azul análisis Raman, R en verde para la reflectancia UV-Vis y F en rosa para la fluorescencia UV-Vis.

La caja se ha analizado empleando las siguientes técnicas: espectroscopia de IR medio (M), espectroscopia Raman (Rm), fluorescencia de rayos X (X), fluorescencia y reflectancia de UV-Vis (F y R; respectivamente). De los análisis que se han realizado en los distintos puntos del objeto empleando las distintas técnicas anteriormente descritas, se ha extraído la relación de pigmentos identificados que se observa en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Pigmentos identificados en la caja de Ushebtis.

Pigmento	Fórmula	Color	Técnicas de identificación
Calcita	$\text{CaCO}_3$	Blanco	MIR; Rm; XRF
Huntita	$\text{Mg}_3\text{Ca}(\text{CO}_3)_4$	Blanco	MIR
Azul Egipcio	$\text{CuCaSi}_4\text{O}_{10}$	Azul	MIR; UV-Vis
Caolín	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Negro	MIR
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Rojo	UV-Vis
Goethita	$\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$	Amarillo	UV-Vis

Se observa diferencia en los azules de la caja, lo que indica posibles retoques. De los análisis de los puntos de color azul claro se infiere la existencia de componentes de silicatos distintos a los del azul egipcio,  $\text{CaCO}_3$ , cuarzo y carbonilo. Las bandas típicas del azul egipcio se dan a 663, 1.008, 1.062 y 1.165  $\text{cm}^{-1}$ , señalizadas por estrellas (figura 4.7). Estas señales, solo se han observado en los puntos azules oscuro y no en los azules claros lo que sugiere que estos restos

de azul claro pueden ser retoques posteriores u otro color cuya caracterización no se resuelve por medio de estas técnicas.

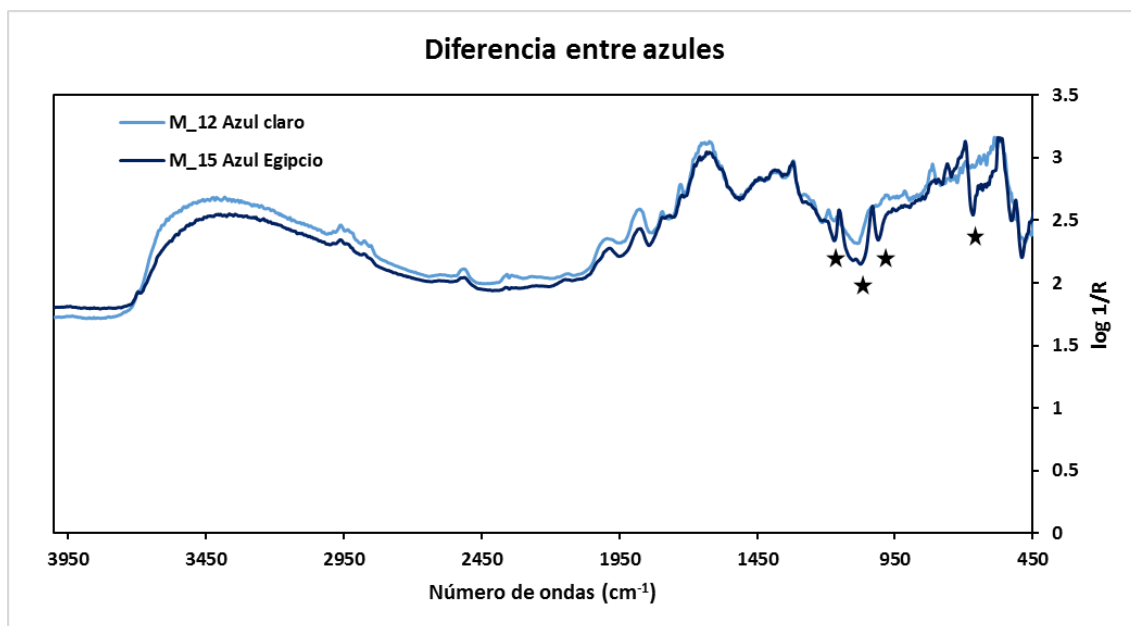


Figura 4.7: Espectros de azul egipcio y azul claro obtenidos por MIR. Las estrellas señalizan las bandas de vibración típicas del azul egipcio que solo se dan en los azules oscuros analizados.

Otra de las características encontradas ha sido el alto contenido de arsénico en algunos de los rojos analizados.

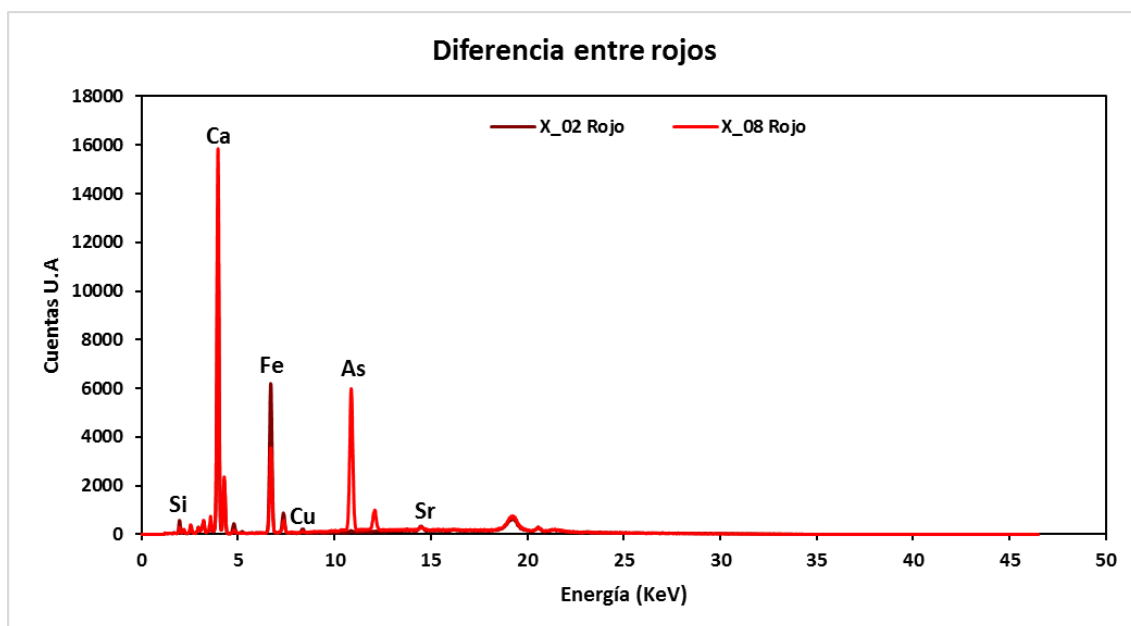


Figura 4.8: Análisis elemental obtenido por XRF de dos muestras de rojo.

Si bien el análisis elemental por XRF en la mayoría de los puntos sugiere la presencia de pigmentos de tierra (pigmentos de base hierro), en otros puntos, como se observa en el espectro de la figura 4.8, los altos contenidos en arsénico podrían indicar la presencia de algún tratamiento de desinsectación o de eliminación de microorganismos mediante químicos en procesos de restauración anteriores. Podrían indicar también la presencia de pigmento rojo de rejalgá ( $\alpha\text{-As}_4\text{S}_4$ ) o amarillo de oropimente ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ). Sin embargo, el resto de las técnicas



empleadas no han podido determinar la presencia de estos pigmentos. Por ello, se ha considerado más probable que los excesos de As se hayan debido a procesos de eliminación de plagas.

### Máscara 1

*Máscara de la Monarquía Ptolemaica.* Máscara para momia que presenta el rostro del difunto con los rasgos convencionales: ojos grandes, cejas alargadas, barba y mirada algo inexpresiva. Lleva peluca tripartita con diadema en cuyo centro se representa el disco solar con alas, flanqueado por dos serpientes "uraeus", todo ello invertido. El rostro es dorado y los rasgos faciales están pintados de negro. Los mechones de pelo caen por los laterales, cubriendo una parte de la esclavina ushekh o capa corta que cubre los hombros (figura 4.9). Por detrás está pintada de negro, y se trata de una pieza textil con yeso y policromías. Esta máscara es un "casco" que se introducía en la cabeza del difunto cubriéndola por completo (DOMUS 15229).



Figura 4.9: Máscara de la Monarquía Ptolemaica perteneciente a la exposición permanente del MAN. En la imagen se señalan los puntos de análisis: M en rojo análisis MIR, X en amarillo análisis XRF, Rm en azul análisis Raman, R en verde para la reflectancia UV-Vis y F en rosa para la fluorescencia UV-Vis.

Sus análisis se han realizado empleando las mismas técnicas que en el caso anterior. En la tabla 4.3 podemos observar los pigmentos identificados. Del resto de colores analizados (morado, verde, amarillo y negro) no se han obtenido resultados concluyentes para poder llevar a cabo una caracterización fiable. En el caso del negro, al no haberse observado elementos diagnósticos se presupone que se trata de negro de origen vegetal.

Tabla 4.3: Pigmentos identificados en la máscara de la monarquía Ptolemaica.

Pigmento	Fórmula	Color	Técnica de identificación
Calcita	$\text{CaCO}_3$	Blanco	MIR; Rm; XRF
Azul Egipcio	$\text{CuCaSi}_4\text{O}_{10}$	Azul	MIR; UV-Vis
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Rojo	UV-Vis
Oro	Au	Oro	XRF; MIR; UV-Vis

Mediante FTIR se ha determinado que el morado tiene una componente de sílice que no se da en el rojo, esto se observa por la aparición de dos bandas a  $802$  y  $1.043 \text{ cm}^{-1}$  señaladas en la figura 4.10 por las dos primeras estrellas de la derecha. Mientras que el rojo muestra una fuerte banda correspondiente a la banda  $\text{C}=\text{O}$  del  $\text{CaCO}_3$  a  $1.526 \text{ cm}^{-1}$  que ha sido de menor intensidad en el morado, de igual modo se resalta en la figura 4.10 mediante triángulos.

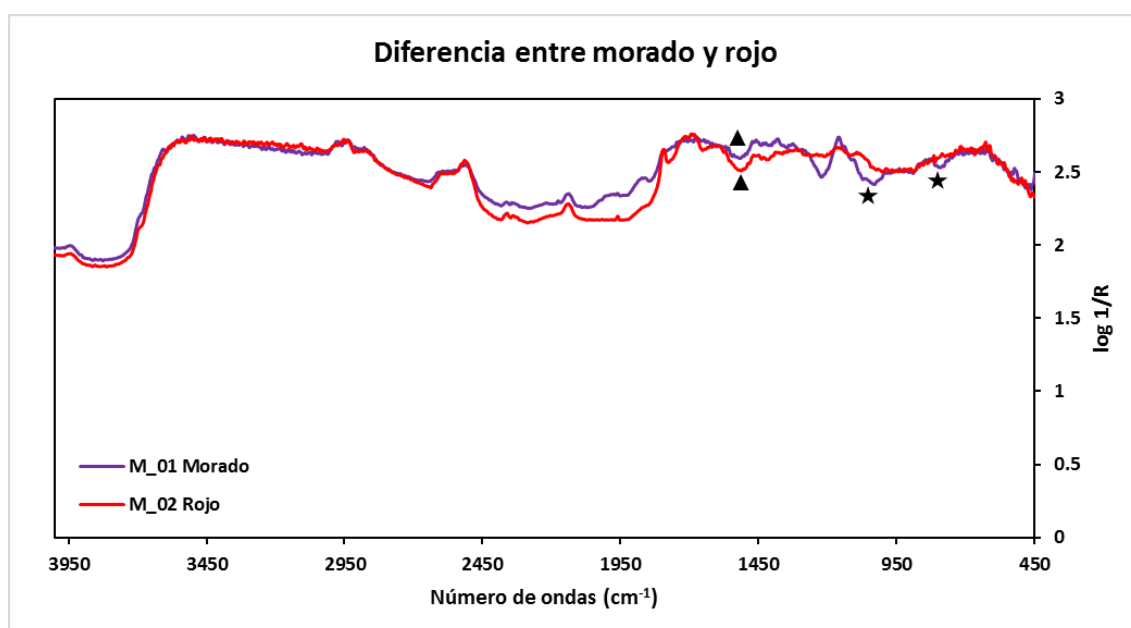


Figura 4.10: Espectros en morado y rojo obtenidos por MIR. Las estrellas a la derecha de la figura indican las bandas de vibración típicas de los componentes de la sílice, mientras que los triángulos en torno a  $1.500 \text{ cm}^{-1}$  la banda carbonilo.

Por otro lado, los análisis muestran independencia entre el morado y el rojo. De los resultados que se han extraído de la XRF, que se muestran en la figura 4.11 se identifica una alta aportación de Cu y As a partir del análisis elemental del morado, mientras que en el caso del rojo la alta aportación ha sido del Fe, lo que sugiere un pigmento de tierra en ambos casos, posteriormente confirmado por espectroscopia UV-Vis.

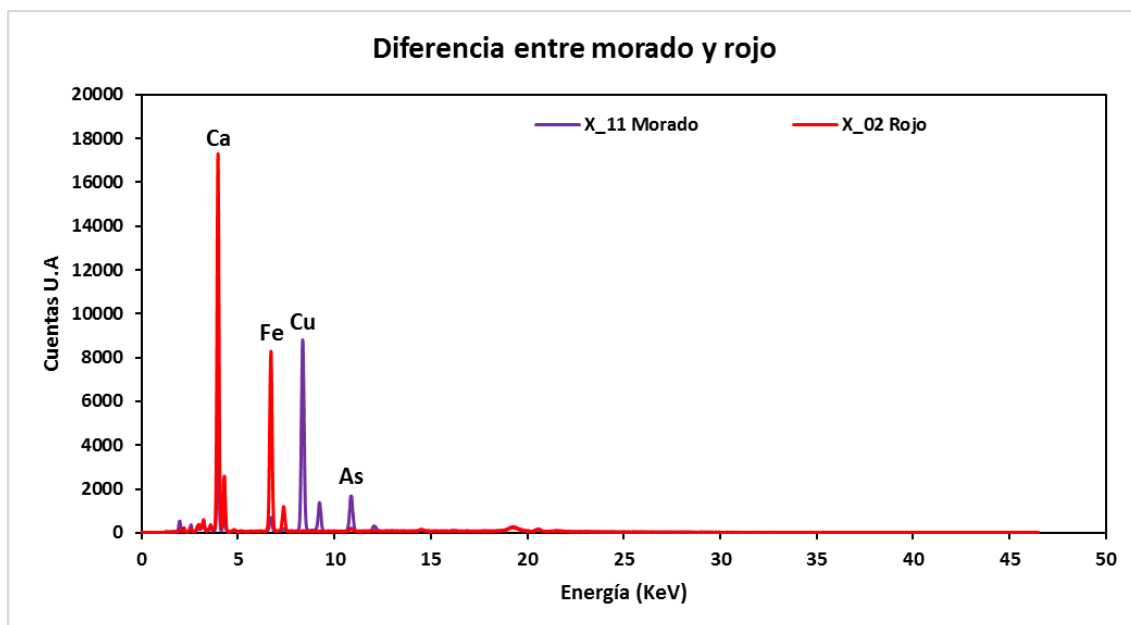


Figura 4.11: Análisis elemental obtenido por XRF de dos muestras, una morada y otra roja.

Asimismo, los análisis mediante XRF de los distintos puntos de amarillos analizados (ver figura 4.12) también sugieren la coexistencia de dos tipos distintos de pigmentos, siendo posiblemente uno de ellos, amarillo oropimente ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) dada la alta aportación de As. Hay que destacar que empleando tan solo técnicas no destructivas, dicha sugerencia no se puede confirmar, ya que es posible también la hipótesis de que ambos amarillos sean iguales y los excesos de As se deban a tratamientos previos de restauración no documentados. Por ello y con objeto de aclarar este punto, sería recomendable tomar una muestra y realizar análisis destructivos con el fin de dilucidar la suposición correcta.

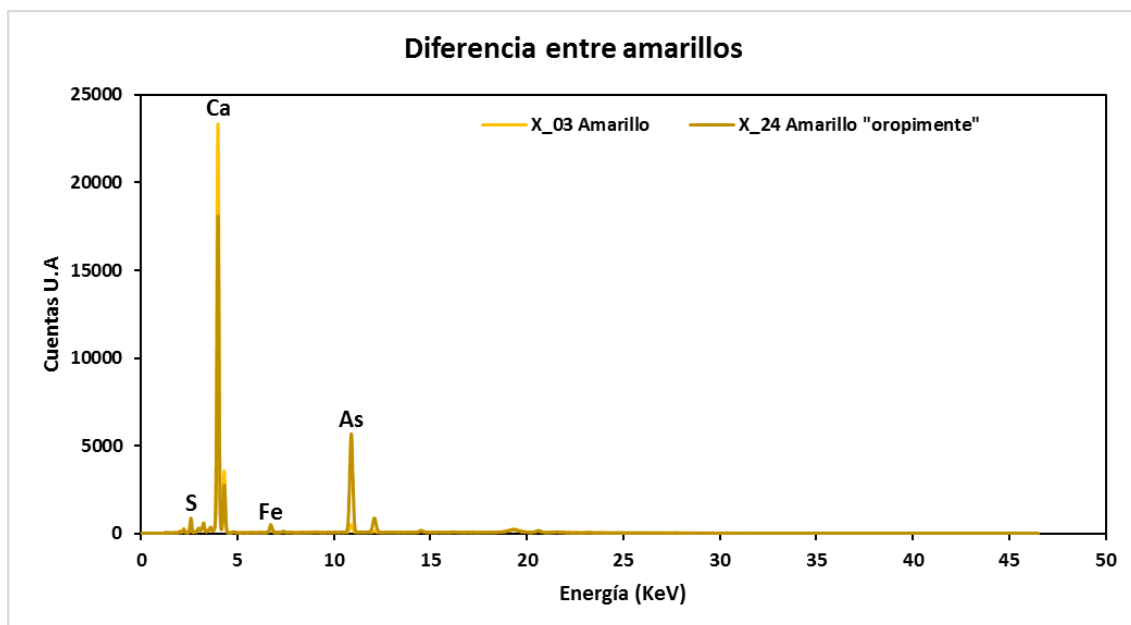


Figura 4.12: Análisis elemental obtenido por XRF de dos muestras de amarillo, se observa mayor proporción de la señal del As en uno de los amarillos.

También, se ha encontrado un retoque en las zonas de oro perteneciente a restauraciones anteriores. Esta afirmación se sustenta en que el análisis elemental no ha mostrado la presencia de Au como se observa en la figura 4.13.

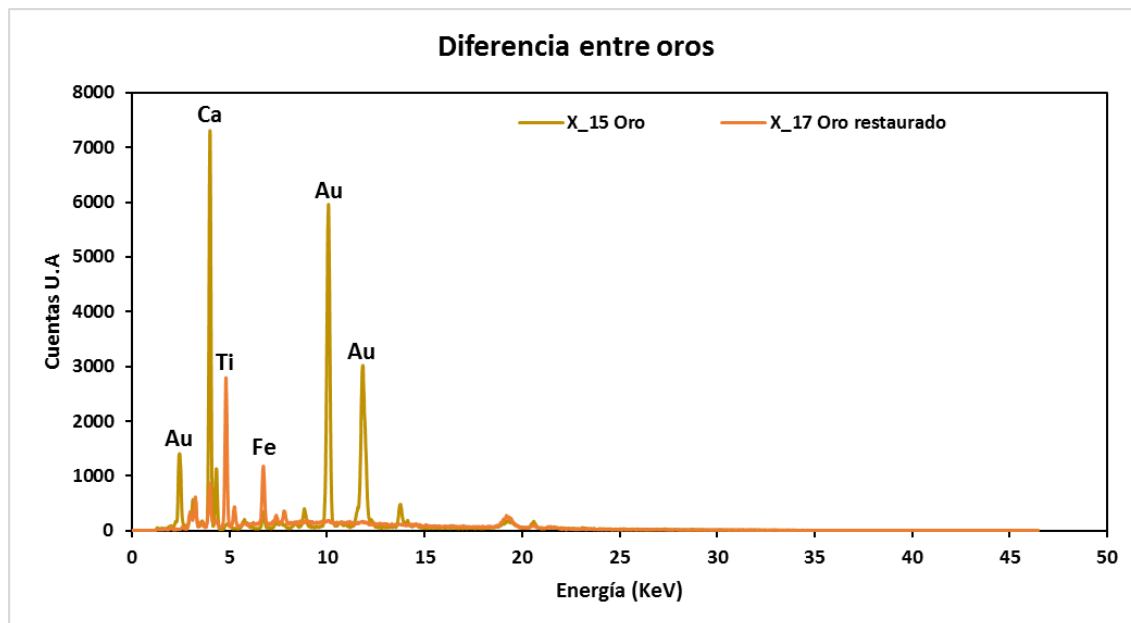


Figura 4.13: Análisis elemental obtenido por XRF de dos muestras de oro. Las líneas energéticas del Au son altas en la muestra X\_15. La muestra X\_17 no posee dicho elemento, por lo que es una zona retocada.

## Máscara 2

*Máscara de la dinastía XXVI, 664 aC - 525 aC.* Se trata de una máscara funeraria de fondo dorado, de 15 cm de altura y 10 cm de ancho. La peluca corta es negra y los rasgos de la cara son convencionales. Procede de la Necrópolis de Saqqara, Menfis (Egipto, África) (DOMUS 2035).

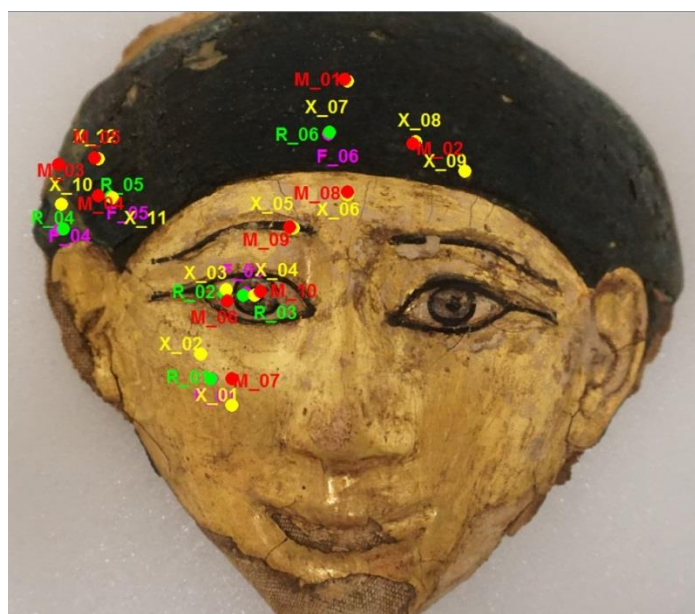


Figura 4.14: Máscara funeraria dorada de la dinastía XXVI perteneciente a la exposición permanente del MAN. En la imagen se señalan los puntos de análisis: M en rojo análisis MIR, X en amarillo análisis XRF, Rm en azul análisis Raman, R en verde para la reflectancia UV-Vis y F en rosa para la fluorescencia UV-Vis.

Este objeto (figura 4.14), ha sido la policromía más sencilla de las analizadas en cuanto a diversidad de colores. En la tabla 4.4 se observan los pigmentos identificados durante los análisis realizados por el Molab para el proyecto PEMAN.

Tabla 4.4: Pigmentos identificados en la máscara 2.

Pigmento	Fórmula	Color	Técnica de identificación
Calcita	$\text{CaCO}_3$	Blanco	MIR; Rm; XRF
Azul Egipcio	$\text{CuCaSi}_4\text{O}_{10}$	Azul	MIR; UV-Vis
Negro de huesos	C	Negro	MIR
Oro	Au	Oro	XRF; MIR; UV-Vis

En este caso no se han encontrado retoques de procesos de restauración anteriores. Sin embargo, se han hallado zonas negras con restos de azul egipcio, marcado en la figura 4.15 por medio de una elipse. La estrella marca la banda a  $1.500\text{ cm}^{-1}$  que ha mostrado la presencia de negro de hueso.

Esto parece confirmar que los antiguos egipcios para ahorrar en las capas de pigmento azul (más caro al ser un pigmento sintético) aplicaban una prebase, a parte de la preparatoria de yeso, calcita o estuco. En este caso de color oscuro para conseguir así una mayor intensidad del azul con menores capas de pigmento.

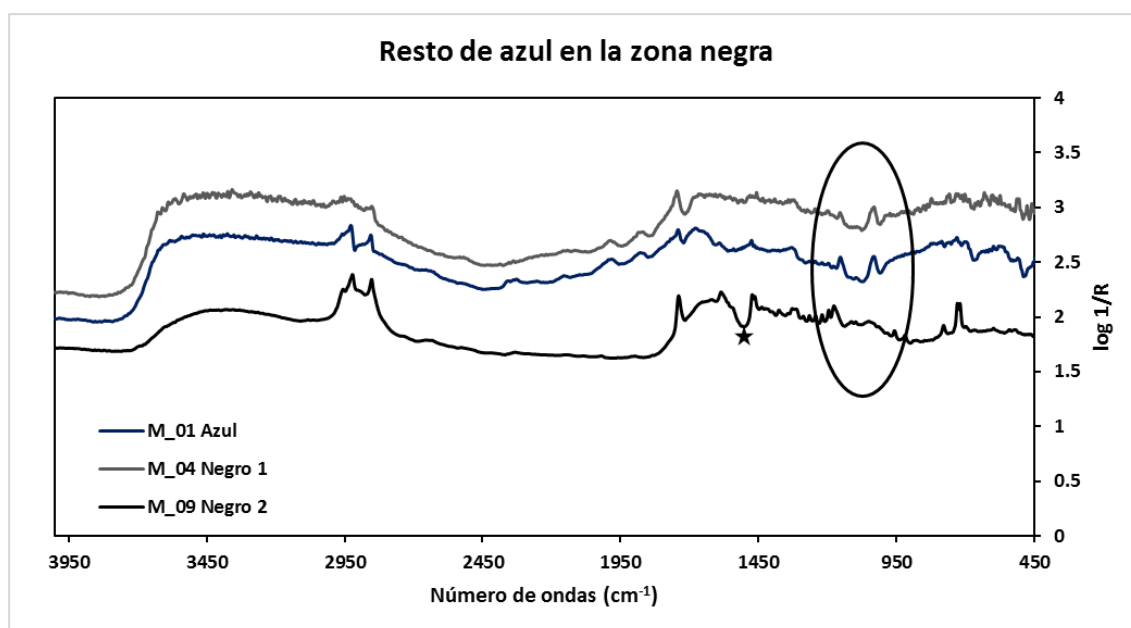


Figura 4.15: Espectros de azul y negro obtenidos por MIR. La elipse señala las bandas de vibración típicas del azul egipcio, presente en menor intensidad en los negros además de en el azul. La estrella de la figura señala la banda de vibración típica a  $1500\text{ cm}^{-1}$  del negro de huesos.

Por otro lado, las zonas desconchadas han mostrado pérdida de color debido al paso del tiempo, pero los análisis han encontrado que dichas zonas poseen restos de azul egipcio, como se observa en la figura 4.16 donde las estrellas han señalado sus bandas características.



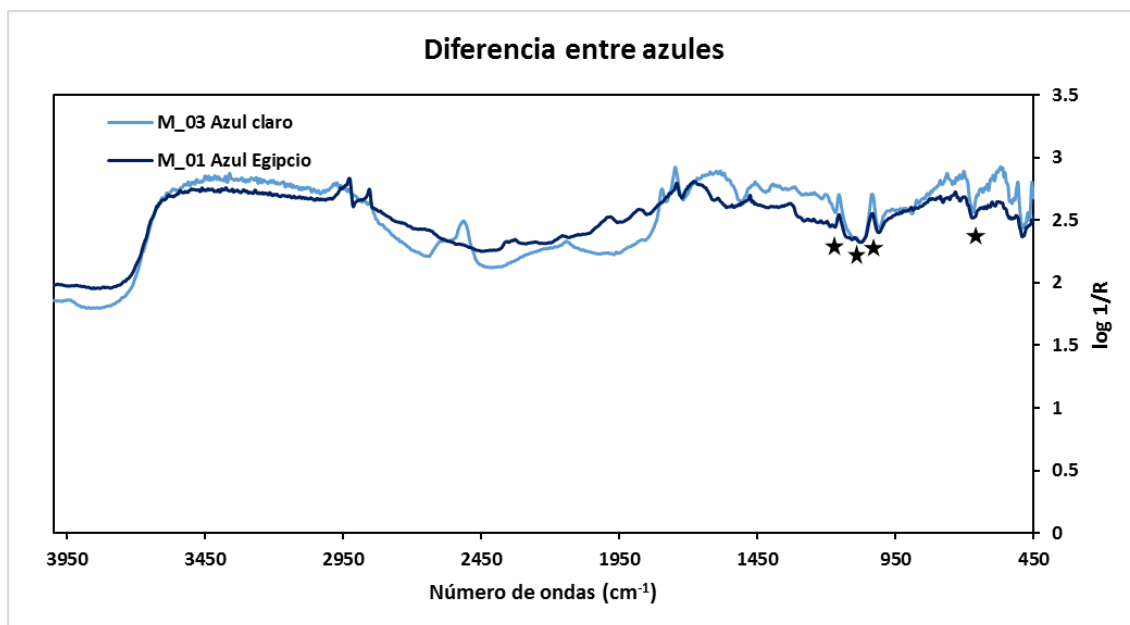


Figura 4.16: Espectros de azul y azul claro obtenidos por MIR. Las estrellas indican las bandas de vibración típicas del azul egipcio en ambos casos.

### Ataúd 1

*Ataúd de Pairusekher de la Dinastía XXI.* Ataúd antropoide de madera policromada del sacerdote divino Pairusekher, sacerdote de Amón en el templo Tebas (figura 4.17). Presenta peluca tripartita decorada a base de rayas y sujeta con una cinta. Ancha esclavina " usej " que le cubre todo el cuerpo y de la que sobresalen dos manos cerradas. En la parte superior de la caja muestra un friso de ureus en donde se indica también el título de " Padre Divino de Mut ". Bajo el friso se desarrollan escenas del difunto compareciendo ante el tribunal de Osiris ante el árbol de la vida y ante la diosa vaca Hathor saliendo de la montaña occidental. Las inscripciones muestran el nombre del difunto y sus títulos (DOMUS 18253). El ataúd posee una longitud de 1,9 cm y una anchura de 70 cm; y su tapa una longitud de 1,7 cm y una anchura de 60 cm.



Figura 4.17: Ataúd de Pairusekher de la Dinastía XXI perteneciente a la exposición permanente del MAN. En la imagen se señalan los puntos de análisis: M en rojo análisis MIR, X en amarillo análisis XRF, Rm en azul análisis Raman, R en verde para la reflectancia UV-Vis y F en rosa para la fluorescencia UV-Vis.

Los análisis de los ataúdes se han encontrado inicialmente con un impedimento, una capa de aproximadamente 6 mm de espesor de resina acrílica. Esta resina se empleó para preservar las piezas tras los últimos procesos de restauración a los que fueron sometidos los ataúdes. Las restauradoras del MAN han eliminado las capas de resina de los ataúdes, para poder llevar a cabo los análisis en las zonas de interés. La tabla 4.5 muestra los resultados obtenidos de dichos análisis.

**Tabla 4.5: Pigmentos identificados en el Ataúd de Pairusekher de la Dinastía XXI.**

Pigmento	Fórmula	Color	Técnica de identificación
Calcita	$\text{CaCO}_3$	Blanco	MIR; Rm; XRF
Dolomita	$\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$	Blanco	MIR
Caolín	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Negro	MIR
Azul Egipcio	$\text{CuCaSi}_4\text{O}_{10}$	Azul	MIR; XRF; UV-Vis
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Rojo	XRF; UV-Vis
Azul de Prusia	$\text{Fe}_7(\text{CN})_{18}(\text{H}_2\text{O})_x$ ( $x=14-16$ )	Azul/Verde	MIR; XRF; UV-Vis
Azul de ftalocianina de cobre	$\text{C}_{32}\text{H}_{16}\text{CuN}_8$	Azul/Verde	MIR; XRF; UV-Vis
Azul ultramar	$3\text{Na}_2\text{O}3\text{Al}_2\text{O}_36\text{SiO}_22\text{Na}_2\text{S}$	Azul/Verde	MIR; XRF; UV-Vis

Los diferentes tipos de azules y verdes que se han encontrado en el ataúd han correspondido con procesos previos de restauración, ya que los azules identificados han sido de otras épocas más modernas y no pudieron ser empleados por los egipcios. Este es el caso del azul de Prusia, el azul ultramar y el azul de ftalocianina.

El primero de ellos, nace de forma accidental entre 1.704 y 1.710 de manos de un fabricante de colores y un químico, ambos alemanes, Diesbach y Dippel (Sharpe, 1976). El segundo de ellos proveniente de Asia, en la antigüedad se extraía de la piedra semipreciosa lapislázuli hasta que en 1.828 se comenzó a emplear su versión sintética debido a la escasez de dicha piedra. La versión sintética posee un color más intenso que la natural, ya que las partículas de pigmento son más uniformes y pequeñas (Schramm y Hering, 2000). Y el último de ellos surge en el mercado a partir del año 1.935, de igual modo, al ser descubierto de forma accidental durante las investigaciones sobre las impurezas que se generaban en el proceso químico de la obtención de la ftalimida (Cane y Sellwood, 1975).

En la figura 4.18 se observan tres espectros. Las estrellas del espectro de la muestra M\_05 indican las bandas de vibración típicas del azul egipcio. En el espectro de la muestra M\_23 la estrella señala la banda de vibración de pigmentos de base cobre y en el espectro de la muestra M\_16 la estrella a  $2.090\text{ cm}^{-1}$  muestra la banda característica del azul de Prusia junto con bandas a  $1.060$  y  $1.160\text{ cm}^{-1}$ , señalizadas por otra estrella, correspondientes a sulfatos combinados con pigmentos en base cobre.



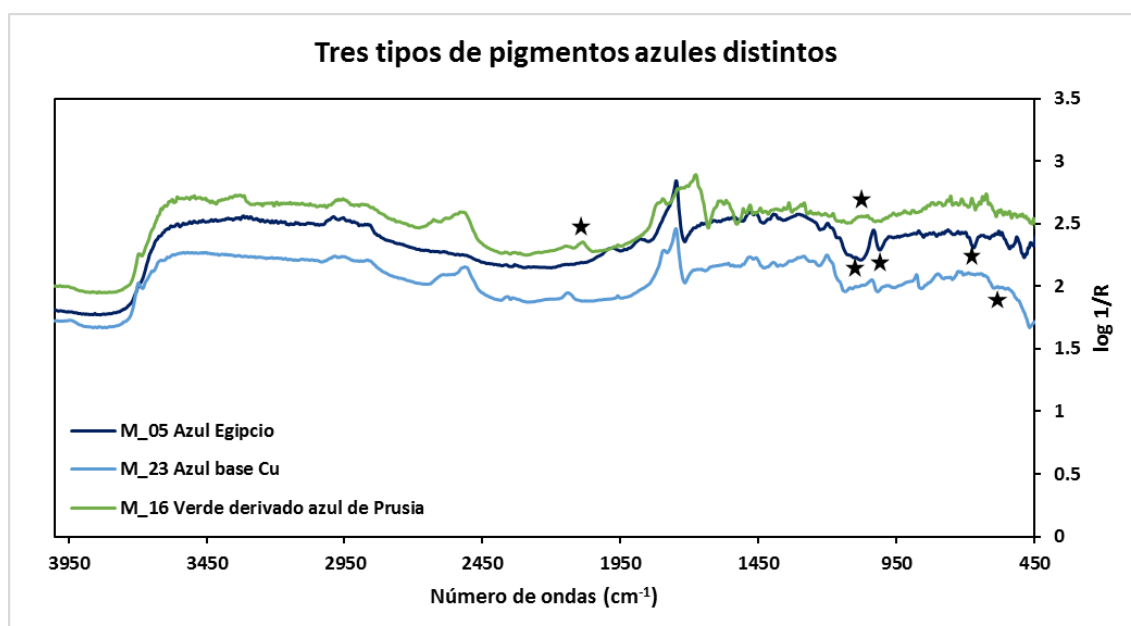


Figura 4.18: Espectros de distintos azules y verde obtenidos por MIR. Las estrellas indican las bandas vibracionales de interés.

Por otro lado, también se han encontrado retoques en amarillos, rojos y verdes como han mostrado los análisis de XRF de las figuras 4.19 a 4.21.

En el caso de los amarillos se han observado discrepancias en la composición. Los pigmentos originales poseen mayores concentraciones de As, mientras que los posibles retoques muestran cobre y zinc.

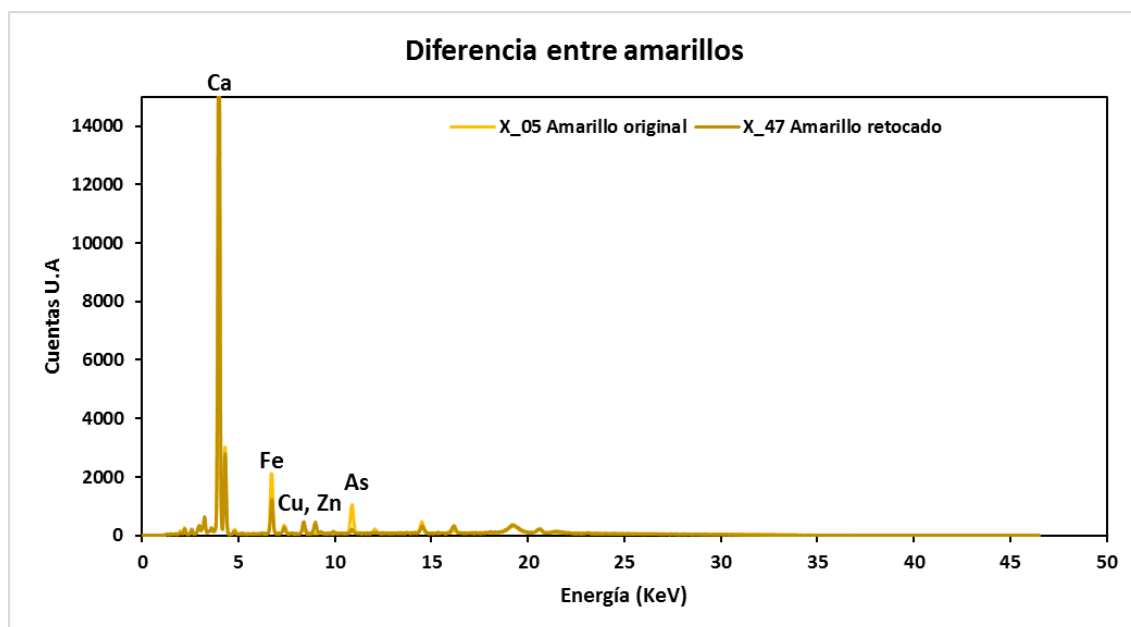


Figura 4.19: Análisis elemental obtenido por XRF de dos muestras de amarillo. La línea energética del Cu presente en la posible zona retocada, mientras que la línea energética del As está presente en una zona original.

En el caso de los rojos se han observado diferencias en las proporciones de As, Fe, Cu y Zn obtenidas en los análisis de XRF (figura 4.20). Si bien todos se han podido clasificar como pigmentos de tierra, no se han encontrado similitudes en la proporción de sus elementos composicionales, lo cual ha sugerido diversidad en la procedencia de dichos pigmentos.

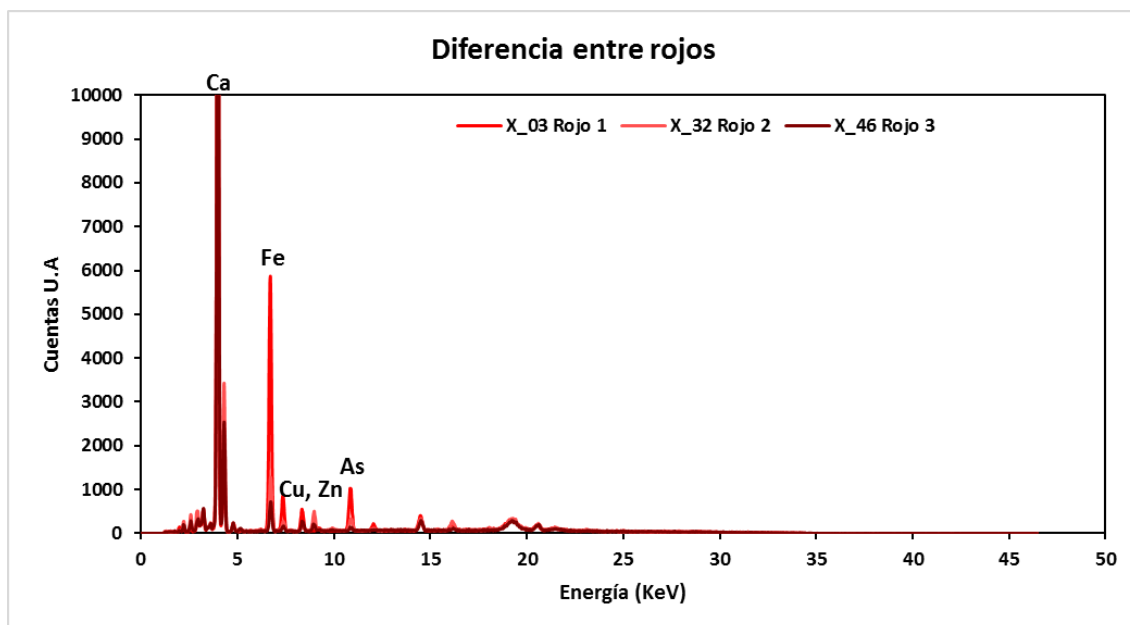


Figura 4.20: Análisis elemental obtenido por XRF de tres muestras de rojo. Las variaciones se observan en la línea energética del Fe, Cu, Zn y As.

El pigmento denominado como verde egipcio se obtenía por calentamiento del azul egipcio, su fase cristalina se alteraba debido a la temperatura, dando lugar a una fase amorfa con un color verde característico. En el caso de los verdes se han observado disparidad en la proporción de Cu de los pigmentos analizados como indica la figura 4.21.

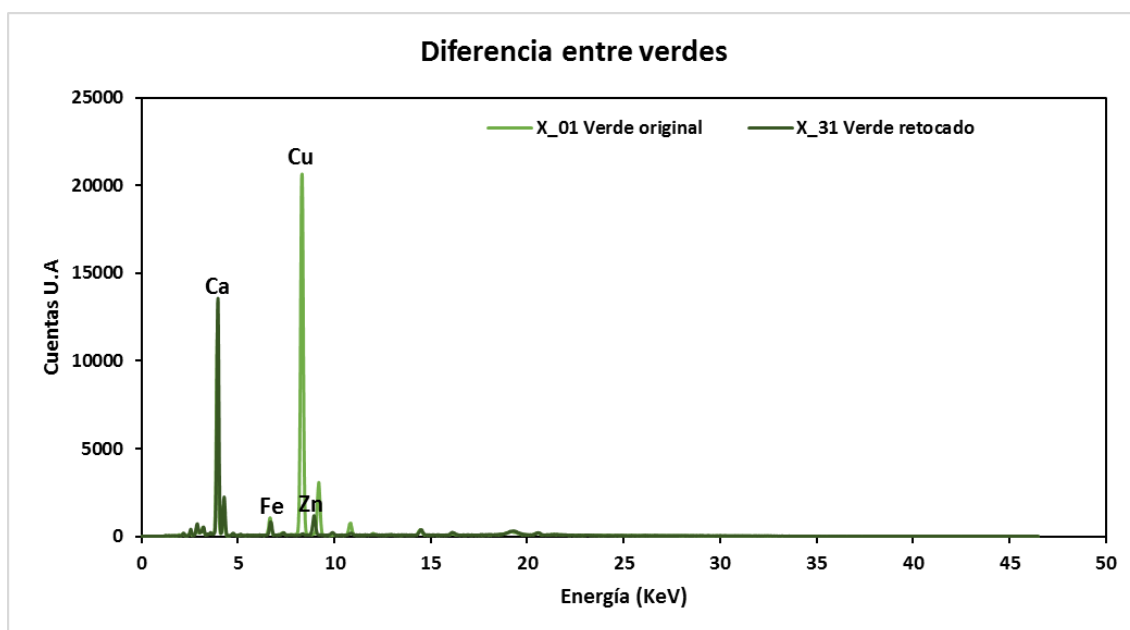


Figura 4.21: Análisis elemental obtenido por XRF de dos muestras de verde. El difractograma muestra la línea energética del Cu en el verde original y su ausencia en el verde retocado.

## Ataúd 2

*Ataúd de Amenemhat de la Dinastía XXI.* Se trata de un ataúd antropoide que perteneció a un gran sacerdote "uab" y sacerdote "entrante" en el santuario del templo de Amón, llamado Amenemhat, que vivió en los inicios de la dinastía XXI (figura 4.22). El sarcófago pertenece a las primeras etapas de la dinastía XXI. En él, la policromía tradicional, que consta de figuras,

tanto humanas como divinas, están trazadas con un cuidado y un gusto excepcional, constituyendo cada una de ellas una pequeña obra de arte en sí mismas. Los temas iconográficos que se han dibujado en las dos tapaderas y en la caja recogen aspectos esenciales de la religión egipcia, como el juicio del alma ante Osiris o la escena de la creación, todas ellas vinculadas a la resurrección del difunto. El ataúd posee una longitud de 1,87 m y una anchura de 52 cm (DOMUS 15216).

En algunos casos, los antiguos egipcios reutilizaban los ataúdes. En el caso de este ataúd, ha sido posible observar mediante análisis visual como se ha borrado el nombre original del ataúd, quedando prácticamente ilegible y se ha empleado verde egipcio para añadir el nuevo nombre. Por tanto, no se puede asegurar que todos los retoques encontrados fueran de procesos de restauración previos. Para el caso del cambio de nombre, el análisis de XRF del pigmento no ha mostrado alteraciones en la composición por lo que sería acertado aseverar que hay continuidad en el uso de estos pigmentos y parece un resultado coherente con la hipótesis sobre la reutilización de los ataúdes por parte de los propios egipcios.



Figura 4.22: Ataúd de Amenemhat de la Dinastía XXI perteneciente a la exposición permanente del MAN. En la imagen se señalan los puntos de análisis: M en rojo análisis MIR, X en amarillo análisis XRF, Rm en azul análisis Raman, R en verde para la reflectancia UV-Vis y F en rosa para la fluorescencia UV-Vis.

Los pigmentos detectados durante los análisis realizados por el MOLAB se observan en la tabla 4.6.

Tabla 4.6: Pigmentos identificados en el ataúd de Amenemhat de la Dinastía XXI.

Pigmento	Fórmula	Color	Técnica de identificación
Calcita	$\text{CaCO}_3$	Blanco	MIR; Rm; XRF
Azul Egipcio	$\text{CuCaSi}_4\text{O}_{10}$	Azul/Verde	MIR; XRF; UV-Vis
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Rojo	XRF; UV-Vis

Los análisis de XRF que se han realizado a la madera del ataúd y al sustrato de preparación, es decir a la prebase sobre la que se aplica la policromía, han mostrado diferencias en su análisis elemental, como se observa en la figura 4.23. En el sustrato de preparación no se ha detectado arsénico, así que es probable que el arsénico observado en la madera se deba a tratamientos para el control de plagas realizados en procesos previos de restauración.

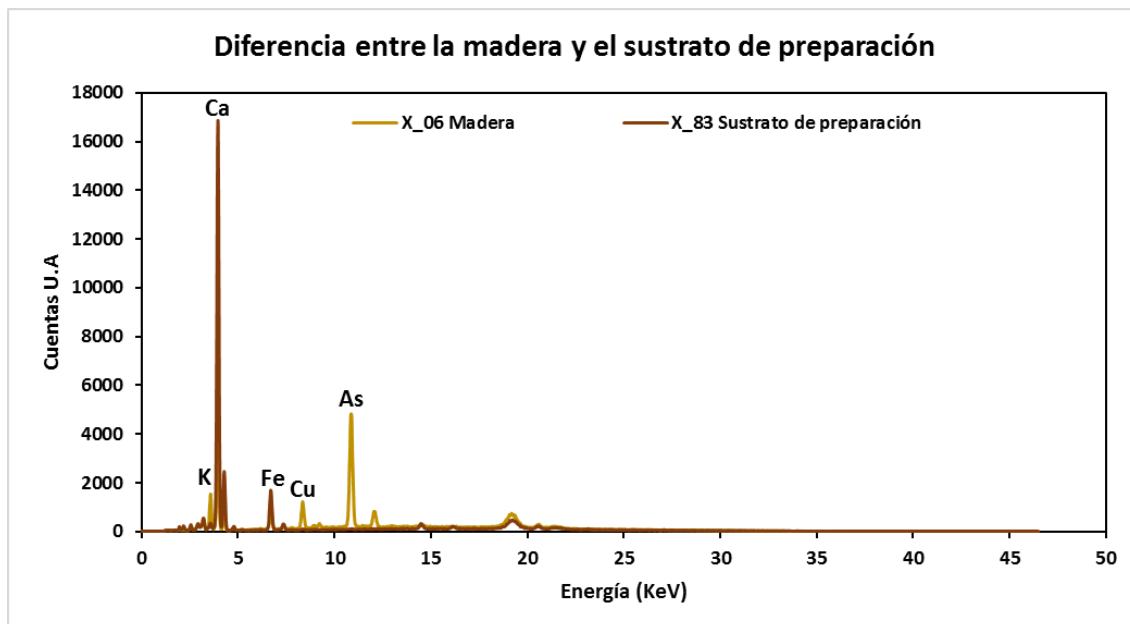


Figura 4.23: Análisis elemental obtenido por XRF de la madera y el sustrato de preparación del ataúd. Se observa la presencia de As en la madera del ataúd.

El análisis elemental por XRF de los azules (figura 4.24) también ha encontrado discrepancias de un azul a otro. Esta discordancia se ha reflejado en la cantidad de plomo encontrada. Las zonas con baja concentración de plomo han indicado retoques o repintes a los cuales se ha sometido a la pieza.

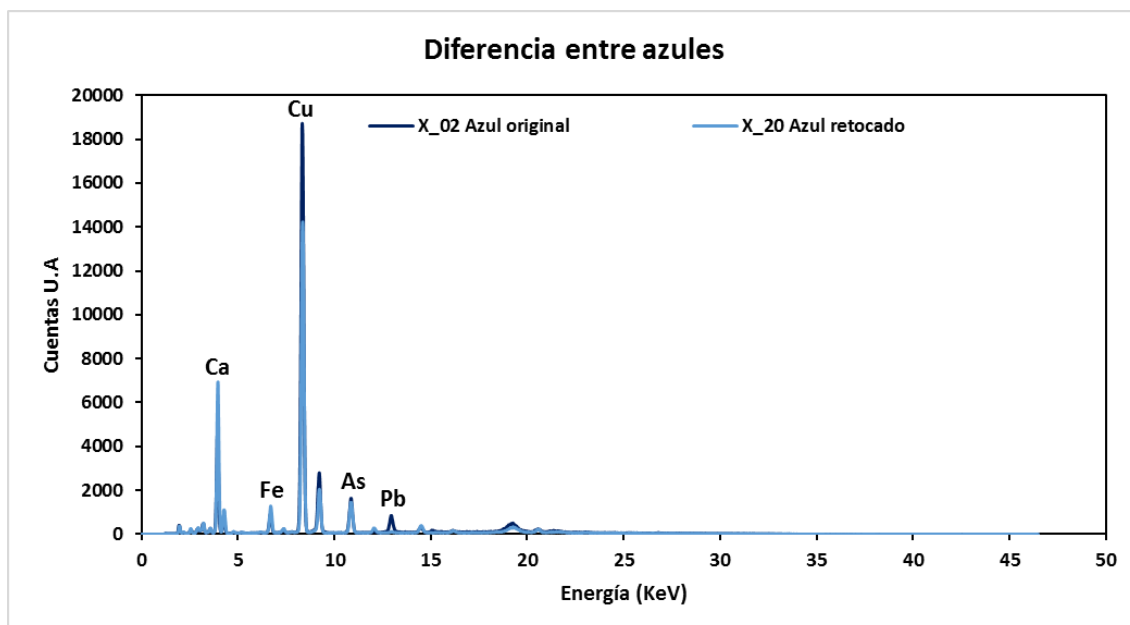


Figura 4.24: Análisis elemental obtenido por XRF de dos muestras de azul. Se observa variación en la línea energética del Pb.

Por otro lado, la espectroscopia de UV-Vis ha mostrado que los verdes son pigmentos de base cobre con una absorción a unos 600 nm como señala la primera estrella por la izquierda de la figura 4.25.

Asimismo, en dicha figura también se muestran los espectros de fluorescencia de UV-Vis de los azules, en ellos se ha observado la emisión típica del azul egipcio a 905 nm marcada por otra estrella.

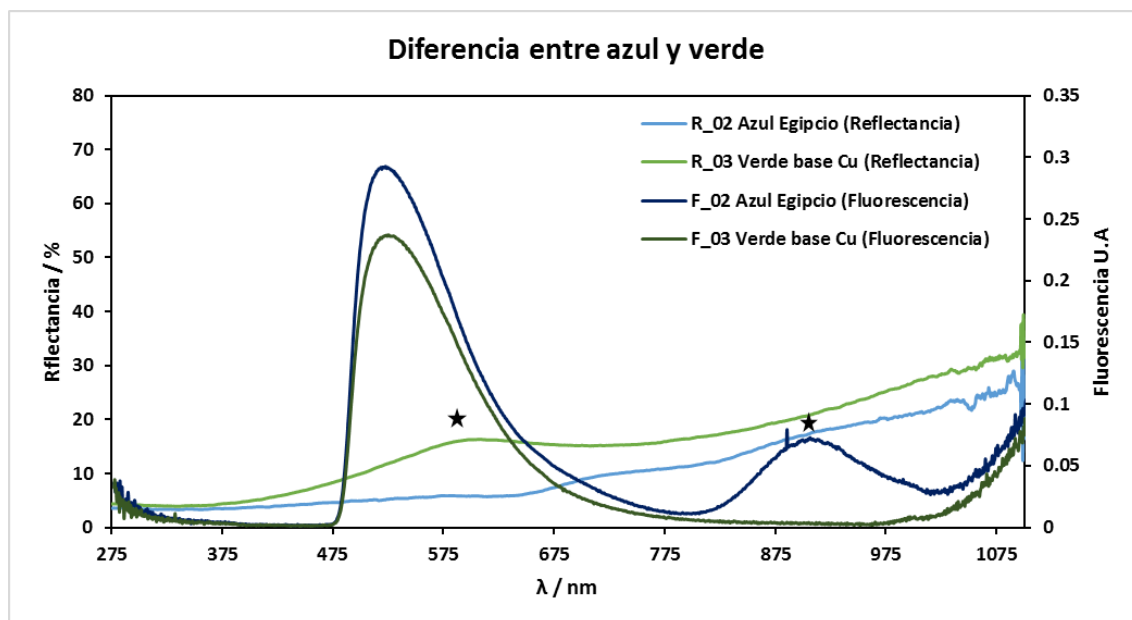


Figura 4.25: Espectroscopia UV-Vis. Reflectancia (R) y fluorescencia (F) de las muestras de verde y azul analizadas.

De los resultados extraídos de estos trabajos y por recomendación de la Dra. Costanza Miliani se seleccionaron 5 pigmentos y 2 aglutinantes para llevar a cabo estudios de exposición a contaminantes en laboratorio. Estos pigmentos y aglutinantes se han desglosado en la tabla 4.7. De esta forma se ha podido evaluar de forma controlada y acelerada, sin poner en riesgos las piezas del MAN, la estabilidad de los distintos materiales pictóricos a los contaminantes seleccionados a partir de los resultados obtenidos y discutido en el capítulo 3 de este trabajo de tesis doctoral.

Tabla 4.7: Pigmentos y aglutinantes seleccionados para los experimentos de exposición.

Pigmentos	Aglutinantes
Hematita $\text{Fe}_2\text{O}_3$	Cola Animal
Malaquita $(\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2)$	Goma Arábica
Blanco de plomo $(2\text{PbCO}_3\text{Pb}(\text{OH})_2)$	
Bermellón o Cinabrio $\text{HgS}$	
Yeso $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	

Hay que destacar el hecho de que en los pigmentos seleccionados no consta el azul egipcio. Este pigmento es muy estable por lo que se ha descartado para los experimentos de exposición. También hay que mencionar que se ha seleccionado el sulfato de calcio en lugar del carbonato de calcio para ampliar el rango de materiales a estudiar y la información

obtenida de estos ensayos al haber ya otros dos carbonatos en la lista de pigmentos seleccionados.

#### 4.8. Selección de los contaminantes:

Tras evaluar los contaminantes presentes en los distintos ambientes del museo, surge una pregunta: ¿afectan estos contaminantes al patrimonio expuesto?. Como se ha expuesto en el capítulo 1 de este trabajo, a lo largo de la propia historia de los museos y exposiciones se ha estudiado el efecto de algunos contaminantes sobre los distintos materiales que componen el patrimonio expuesto. Dentro de estos contaminantes típicos encontramos los ácidos orgánicos y el formaldehído. Sin embargo, existen pocos estudios sobre la influencia del resto de VOCs sobre el patrimonio artístico. Teniendo en cuenta que actualmente estos contaminantes pasan a ser mayoritarios debidos a los nuevos materiales, se ha considerado relevante intentar dar respuesta a la pregunta mencionada anteriormente.

Para ello se han planteado ensayos de exposición sobre distintos materiales pictóricos de origen arqueológico a una serie de contaminantes. Con los resultados obtenidos en el capítulo 3 se ha llevado a cabo la selección de los contaminantes para dichos estudios. Se han seleccionado los dos VOCs mayoritarios, de cada familia, determinados en el interior de las vitrinas, además de dos de los tradicionalmente estudiados en ambiente de museo (ácido acético y formaldehído). También se han hechos pruebas con metanol, por ser el disolvente presente en los patrones de calidad analítica empleados y así asegurar la influencia del contaminante y no del disolvente. La tabla 4.8 muestra los contaminantes seleccionados.

**Tabla 4.8: VOCs seleccionados para los estudios de exposición.**

Familia	Contaminantes líquidos
BTX-Aromáticos	<i>m</i> -xylene
	1,2,4-trimetilbenceno
Aldehídos-Terpenos	1-metoxi-2-propilacetato
	hexanal
Alifáticos	2,2,4-trimethylpentano
	nonano
Siloxanos-Otros	2-butanonaOxima
	octametilciclotetrasiloxano
	dodecametilciclohexasiloxano
Alcoholes	metanol
De estudio tradicional en museos	ácido acético
	formaldehído

En el caso de los experimentos que se han realizado durante la estancia en la Università degli Studi in Perugia - Italia, la mezcla de pigmento más aglutinante sobre vidrio, ha sido expuesta a los VOCs emitidos por la silicona neutra empleada en la construcción de las vitrinas.

4.9. Preparación de modelos pictóricos

Para la preparación de los modelos pictóricos de pigmentos basados en las policromías del arte del antiguo Egipto, se han usado los pigmentos y aglutinantes adquiridos a diversas firmas comerciales. Unas especializadas en pigmentos como Zecchi y Kremer y otras firmas de materias primas y reactivos como Sigma-Aldrich. Todas ellas se muestran en la tabla 4.9.

Tabla 4.9: Pigmentos y aglutinantes seleccionados para la realización de modelos pictóricos empleados en los experimentos de exposición a los diferentes contaminantes indicados en la tabla 4.8.

	
Pigmentos y Aglutinantes	
Hematita $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (Kremer/Zecchi)	
Malaquita $(\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2)$ (Kremer/Zecchi)	
Blanco de plomo $(2\text{PbCO}_3\text{Pb}(\text{OH})_2)$ (Sigma-Aldrich)	
Cinabrio $\text{HgS}$ (Sigma-Aldrich/Zecchi)	
Yeso $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich)	
Cola Animal (Kremer)	
Goma Arábica (Kremer)	

Tanto los pigmentos como los aglutinantes se encuentran en forma de sólido pulverizado. En primer lugar, se ha preparado el aglutinante. Para disolver el aglutinante, los egipcios empleaban principalmente dos disolventes: agua o aceite (Medina, 2015). Al emplear agua la técnica se conoce como temple. Ésta es la base más empleada en los ataúdes egipcios. Mientras que al emplear aceite la técnica se conoce como óleo. Para este trabajo se ha empleado la técnica de temple, al ser la más extendida en este tipo de obras de arte. Para la preparación de los modelos se ha utilizado la siguiente proporción: 5 goma arábica:7 de agua destilada (en el caso del aglutinante de origen vegetal) y 1 de cola animal:7 de agua destilada (en el caso del aglutinante de origen animal).

Una vez preparado el aglutinante, se mezcló con el pigmento hasta obtener una mezcla homogénea. La proporción pigmento-aglutinantes ha sido 1:2 en el caso del pigmento con el aglutinante de origen vegetal (goma arábica), y 1:1 en el caso del pigmento con el aglutinante de origen animal (cola animal). Una vez homogeneizada la mezcla de pigmento y aglutinante se pintó con ella la superficie de un soporte, este puede ser de madera o de vidrio. La figura 4.26 muestra el proceso de preparación de los modelos pictóricos.



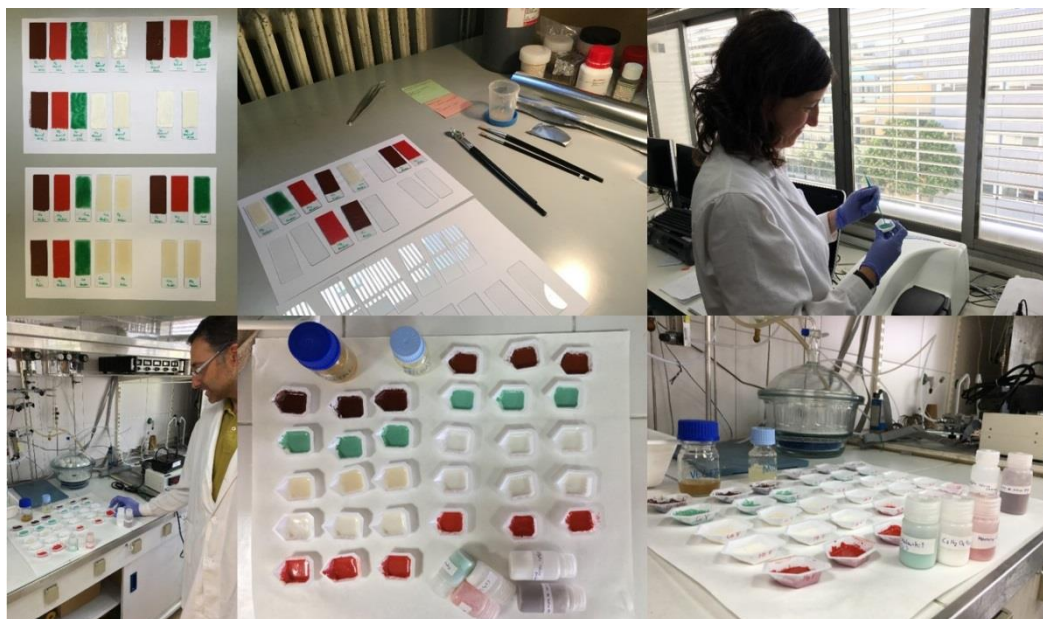


Figura 4.26: Preparación de modelos pictóricos en la *università degli Studi (Perugia - Italia)* y en el CIEMAT

Los modelos que se han preparado para este estudio y cuyos resultados se discuten más adelante en este capítulo, han sido realizados durante la estancia en la Università degli Studi en Perugia - Italia bajo la supervisión de la Dra. Costanza Miliani, y posteriormente se han completado con otros ensayos en los laboratorios del grupo FOTOAIR del CIEMAT.

En el caso de los experimentos que se han realizado durante la estancia, la mezcla de pigmento más aglutinante sobre vidrio ha sido expuesta a los VOCs emitidos por la silicona neutra empleada en la construcción de las vitrinas. Las muestras se han expuesto durante 2 semanas, y tras evaluar sus resultados se han vuelto a exponer por un periodo de dos años.

Mientras que, los ensayos que se han realizado en el CIEMAT se han hecho de forma acelerada exponiendo los materiales a contaminantes de forma directa (tabla 4.8) durante distintos intervalos de tiempo, entre dos semanas y un mes de duración.

Se han montado 84 placas Petri de vidrio para evitar emisiones distintas a las de los contaminantes seleccionados. En ellas se ha introducido 1 g de cada pigmento y aglutinante y se ha expuesto a 50 µl de patrón de calidad analítica de cada contaminante. Una vez expuesto al contaminante, las placas se han sellado y se han dejado volatilizar, prolongando la exposición al contaminante durante distintos intervalos de tiempo.

Una vez transcurrido el tiempo de exposición se han abierto las placas y se ha dejado evacuar el exceso de VOC en vitrina sobre una superficie calefactada a 40 °C (figura 4.27) para proceder posteriormente al análisis de las muestras por las distintas técnicas que se han descrito en el apartado siguiente de este capítulo.



Figura 4.27: La imagen muestra un potenciómetro conectado a bandas calefactoras sobre una plancha metálica, la intensidad de la corriente se regula para obtener una temperatura de 40 °C sobre las muestras. En la esquina izquierda inferior se observa un detalle de las muestras.

## 4.10. Caracterización de los modelos pictóricos

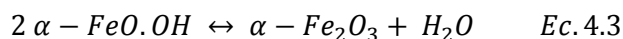
Las técnicas que se han empleado para la caracterización de las muestras de los ensayos de exposición han sido: espectroscopia de rayos X (RX), espectroscopia IR por transformada de Fourier (FTIR) y espectroscopia de UV-Vis. Describas en los apartados iniciales de este capítulo.

Una diferencia que se ha de resaltar entre los análisis que se han realizado en el proyecto PEMAN, descrito anteriormente, y los de exposición a contaminantes, han sido las modalidades de trabajo con las técnicas espectroscópicas que se han empleado. En el proyecto PEMAN se ha utilizado espectroscopia FTIR mediante reflexión difusa o especular en función del espesor de la muestra. En este caso, el análisis es no destructivo y no requiere toma de muestra, mientras que para los ensayos de exposición los espectros de FTIR se han adquirido por transmisión, generando pastillas a partir de las muestras preparadas.

### 4.10.1. Caracterización inicial, sin exposición, de los materiales seleccionados

#### Hematita

La hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ocre rojo es probablemente el primer pigmento utilizado por el hombre. Generalmente se trata de un mineral mayoritariamente compuesto por óxido de hierro. El mecanismo de formación de color se da por transferencia de carga de los ligandos  $\text{O}^{2-}$  u  $\text{OH}^-$  a los iones  $\text{Fe}^{3+}$ . El color de los pigmentos derivados de los óxidos e hidróxidos de hierro se puede ver influenciado por el tamaño de partícula. Es de origen natural, pero puede obtenerse por vía sintética mediante calentamiento de goethita de 140 – 500 °C por pérdida de agua como indica la siguiente reacción (Ec. 4.3).



El contenido de óxidos e hidróxidos de hierro varía del 20 a 99 % (Palache, Berman y Frondel, 1944). Entre las diversas opciones que encontramos, las más importantes son: los ocre, una mezcla de óxidos e hidróxidos de hierro con minerales de arcilla y cuarzo y las tierras, estas últimas con un término muy genérico, sin embargo, que también implica una procedencia natural. Hay tres tipos de tierras: las de sombra, las de Siena y las verdes. Todas ellas de origen natural con variaciones en la composición de los óxidos de hierro, manganeso y los silicoaluminatos de hierro, magnesio y potasio.

Se trata de un pigmento con un excelente poder cubriente, intensidad de color y estable. Es compatible con todos los medios de enlace y por tanto se puede emplear con todas las técnicas pictóricas. En particular es muy adecuado su uso en la técnica de pintura al fresco (Sola *et al.*, 2013).

En la figura 4.28 se han observado las bandas de vibración de Fe-O a 475 y 554  $\text{cm}^{-1}$ . Por otro lado, a 1.087  $\text{cm}^{-1}$  se ha encontrado la banda de vibración del cuarzo (Si-O) (Bikiaris *et al.*, 1999).

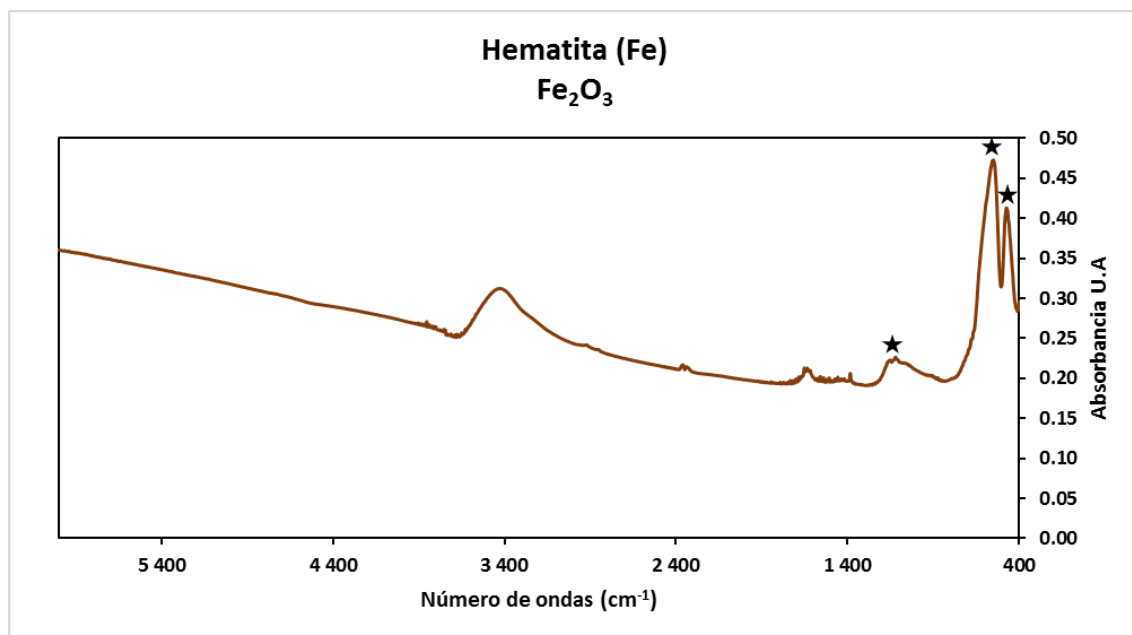


Figura 4.28: Espectro de FTIR por transmisión de la Hematita sin exposición.

La figura 4.29 muestra el espectro de absorbancia y reflectancia de la hematita en polvo sin exposición, se observa el máximo de absorción, el cual corresponde con el mínimo de reflectancia en torno a los 700 nm del espectro electromagnético, emitiendo el correspondiente color rojo oscuro.

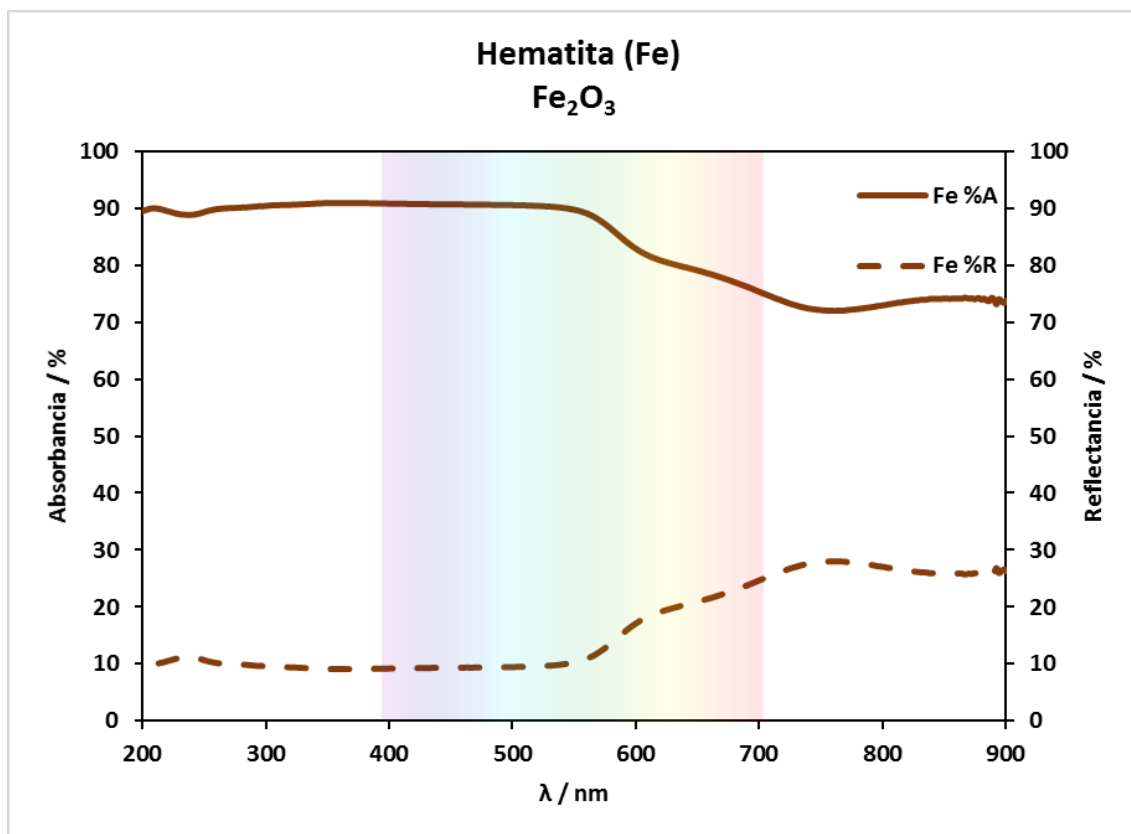


Figura 4.29: Espectro de absorción y reflectancia de UV-Vis de la Hematita sin exposición.

Podemos encontrar los planos cristalográficos de la hematita en la figura 4.30, (Swanson, Gilfrich y Cook, 1956).

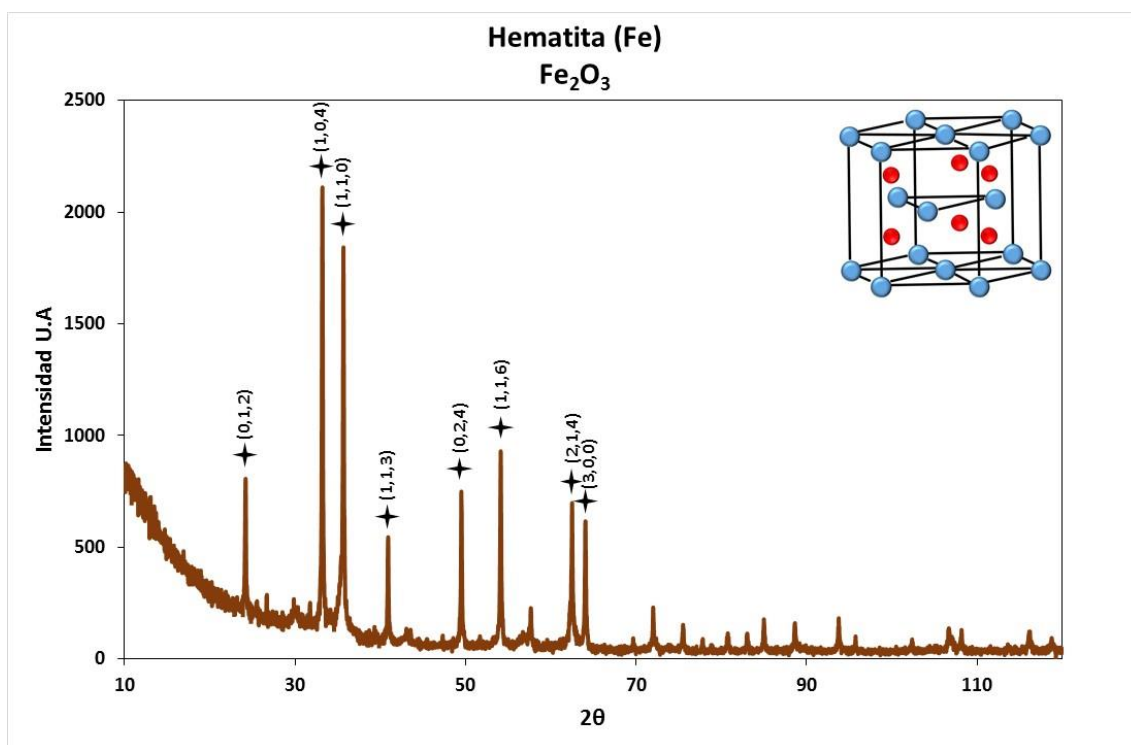


Figura 4.30: Espectro de difracción de RX de la Hematita sin exposición. En la esquina superior derecha se observa su estructura formada por átomos de Fe (rojo) y O (azul).

### Malaquita

La malaquita es un carbonato de cobre básico cuya fórmula es  $\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$ . El color se genera debido a las transiciones del tipo d-d. La preparación del pigmento simplemente consiste en moler y lavar el mineral en bruto. Se emplea en todas las técnicas pictóricas, sin embargo, sus malos resultados en óleo a menudo llevan a que sea sustituido por el cardenillo y la resina de cobre (Cornelis y Hurlbut, 1997).

Las bandas marcadas a la derecha de la figura 4.31 a 820 y 877  $\text{cm}^{-1}$  se han identificado como los dos modos de flexión ( $\nu_2$ ) del  $\text{CO}_3^{2-}$ . Los modos vibracionales de tensión simétrica ( $\nu_1$ ) y asimétrica ( $\nu_3$ ) del  $\text{CO}_3^{2-}$  se han dado a 1.111  $\text{cm}^{-1}$  para ( $\nu_1$ ) y a 1.392 y 1.486  $\text{cm}^{-1}$  para ( $\nu_3$ ). Mientras que se ha encontrado la flexión del modo  $\delta\text{OH}$  a 1.036  $\text{cm}^{-1}$  y las bandas de vibración de los OH a 3.323 y 3.407  $\text{cm}^{-1}$  (Gražėnaitė *et al.*, 2014).

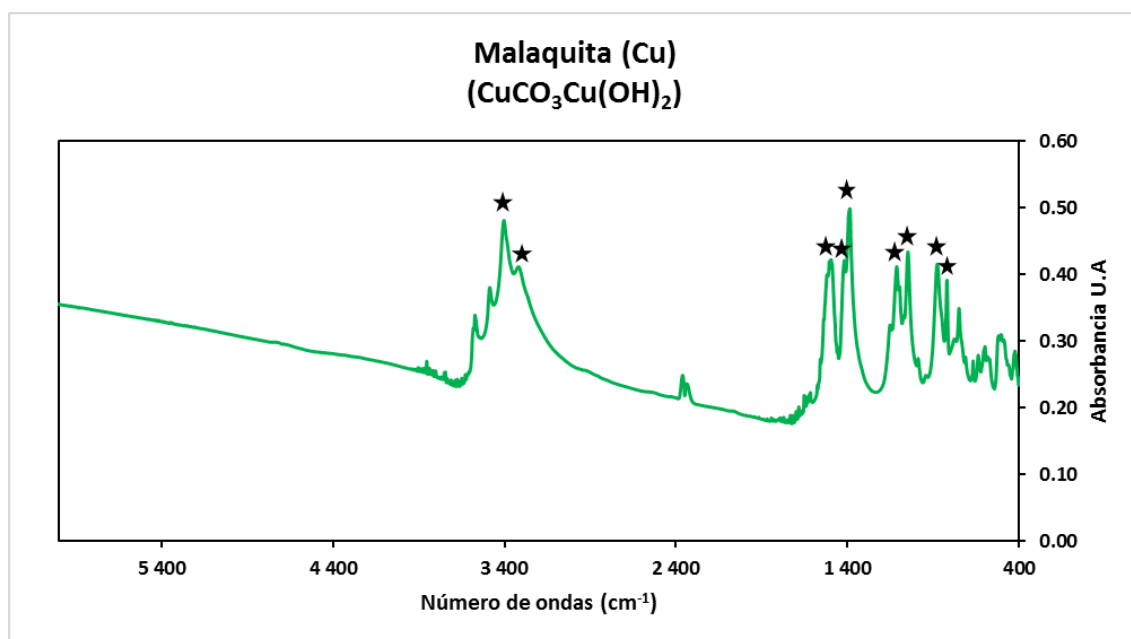


Figura 4.31: Espectro de FTIR por transmisión de la Malaquita sin exposición.

La figura 4.32 presenta su máximo de refracción a 526 nm, que corresponde con la zona del espectro electromagnético del color verde (497 – 570 nm) (Gallego y Sanz, 2005).

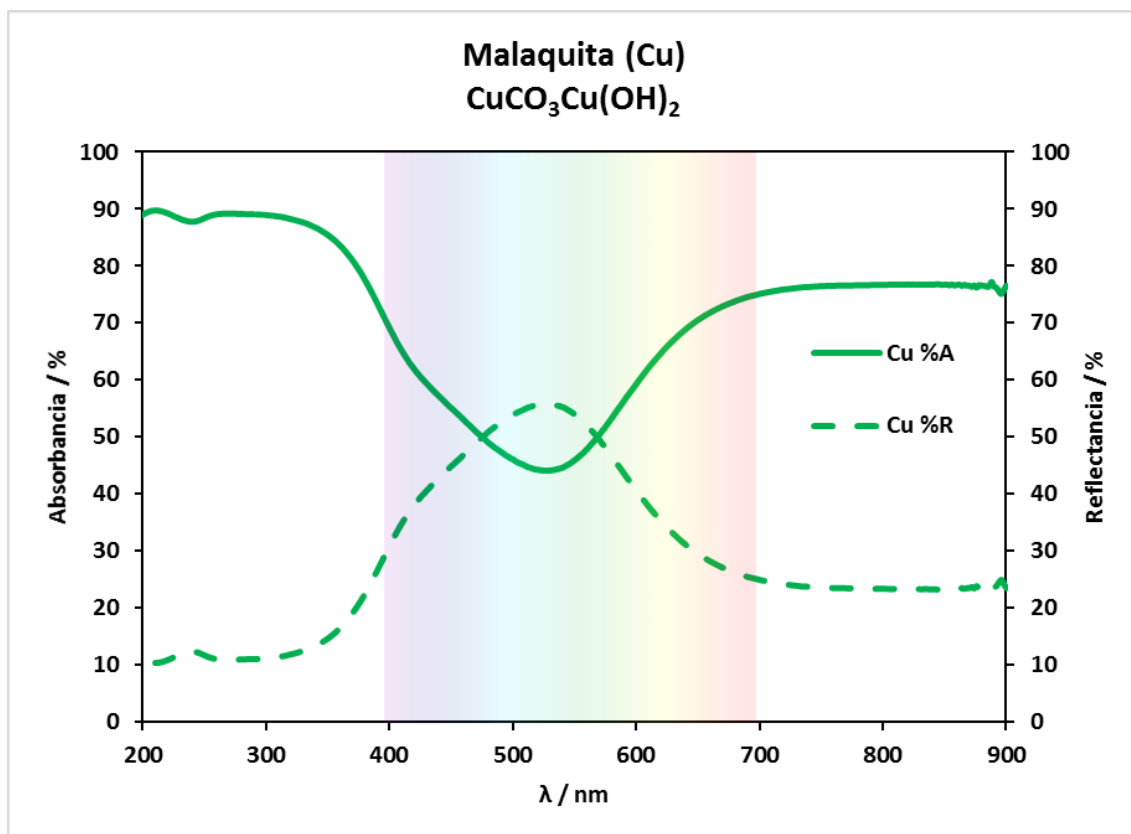


Figura 4.32: Espectro de absorción y reflectancia de UV-Vis de la Malaquita sin exposición.

En la figura 4.33 se observan los planos cristalográficos obtenidos en el espectro de RX de este mineral sin exposición (Swanson, Gilfrich y Cook, 1956).

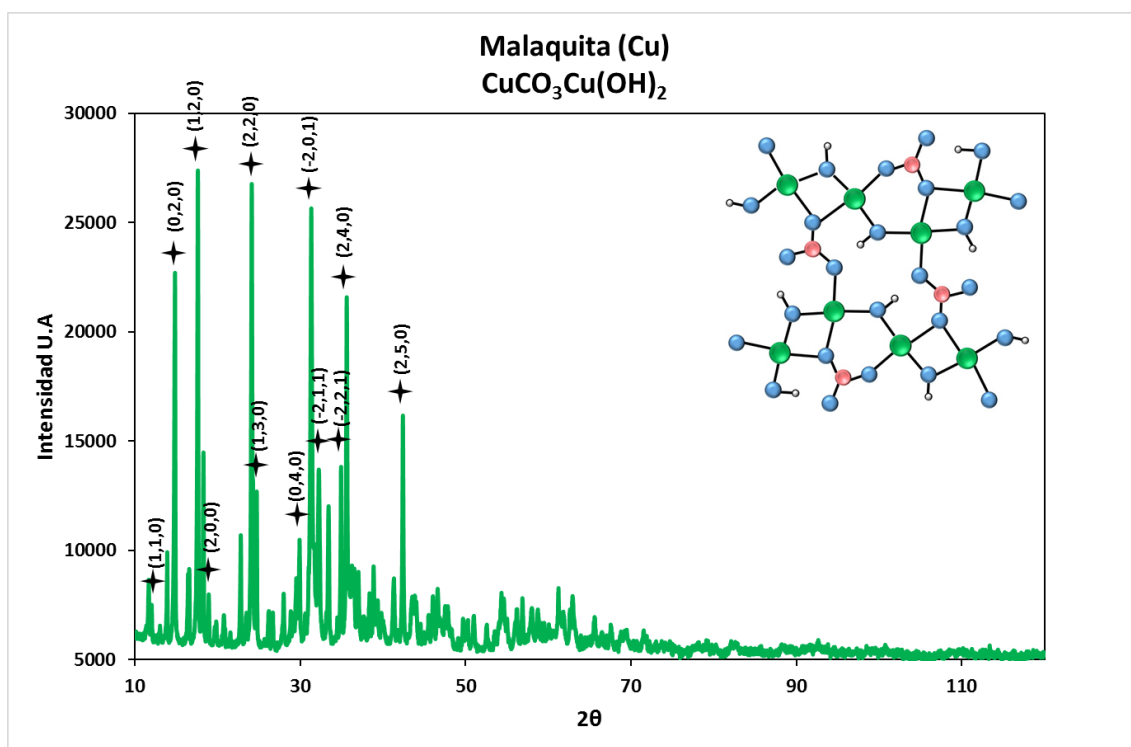


Figura 4.33: Espectro de difracción de RX de la Malaquita sin exposición. En la esquina superior derecha se observa su estructura formada por átomos de Cu (verde), C (rosa); O (azul) y H (blanco).



## Yeso

Dentro de los primeros pigmentos blancos podemos encontrar los siguientes: calcita, yeso, anhidrita, talco, rutilo y anatasa. Todos ellos con oxalatos debido a las impurezas de las biodegradaciones.

Entre los pigmentos blancos, el grupo de materiales calcáreos es uno de los más importantes. Las rocas calcáreas se han empleado ampliamente desde el paleolítico, debido a su gran extensión en la corteza terrestre. La principal fase mineral de estas rocas es el carbonato de calcio, que se encuentra en forma de calcita y aragonita. Existen otras variantes como la magnesita, la dolomita y la huntita (Pough, 1998).

En general se trata de pigmentos con bajo poder cubriente, por lo que se solían emplear como agregados a otros pigmentos y bases de preparación (imprimaciones), este hecho se ha confirmado como hemos visto en el apartado anterior, tras los análisis que se han realizado a las piezas egipcias del MAN.

Otro de los grupos más importantes de pigmentos blancos es el de los sulfatos de calcio, que incluye al yeso y a la anhidrita. Al igual que en el caso de las rocas calcáreas anteriormente descritas, se trata de sustancias de amplia disponibilidad, más estables en ambientes ácidos y que de igual modo también fueron empleados por los egipcios como materiales de imprimación.

El yeso posee un índice de refracción bajo, del cual deriva su pobre poder de cubierta, es por ello que no se ha empleado como pigmento al uso. En el caso de los egipcios su uso se solía limitar a la preparación de las superficies pictóricas, lo que hemos denominado como prebase o imprimación para fijar el resto de los colores con mayor facilidad y calidad.

En la figura 4.34 se ha observado el triplete degenerado de la tensión asimétrica ( $\nu_3$ ) del  $\text{SO}_4$  a  $1.139$  y  $1.111\text{ cm}^{-1}$ , la banda a  $1.004\text{ cm}^{-1}$  se ha asignado a la tensión simétrica ( $\nu_1$ ) del  $\text{SO}_4$  y las bandas a  $666$  y  $602\text{ cm}^{-1}$  han mostrado la flexión asimétrica ( $\nu_4$ ) del  $\text{SO}_4$ .

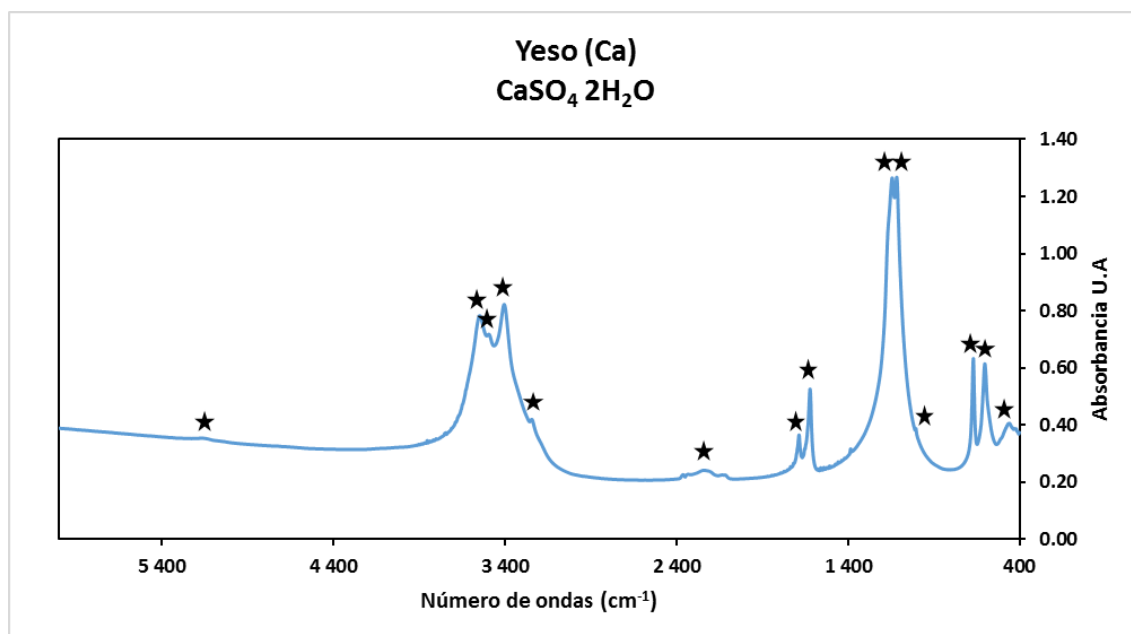


Figura 4.34: Espectro de FTIR por transmisión del yeso sin exposición.



A  $463\text{ cm}^{-1}$  se ha hallado la banda correspondiente a la liberación de  $\text{H}_2\text{O}$  ( $\nu_L$ ). El doblete a  $1.685$  y  $1.619\text{ cm}^{-1}$  ha correspondido con la flexión ( $\nu_2$ ) de los OH. La banda a  $2.239\text{ cm}^{-1}$  se ha asignado a  $2\nu_3\text{SO}_4$  y  $\nu_2 + \nu_L\text{H}_2\text{O}$ , siendo estas últimas algo que solo se observa en el yeso. El primer sobretono de la flexión H-O-H se ha observado a  $3.248\text{ cm}^{-1}$ . La tensión simétrica ( $\nu_1$ ) y la asimétrica ( $\nu_3$ ) de los OH se han identificado a  $3.405\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_1$ ) y  $3.491$ ;  $3.544\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_3$ ) respectivamente. Por último, a  $5.154\text{ cm}^{-1}$  se ha encontrado la banda correspondiente a la combinación del  $\text{H}_2\text{O}$  con el yeso (Rosi *et al.*, 2010).

En la figura 4.35 se observa como no existen variaciones de absorción o de reflexión a lo largo de la zona visible, entre  $400 - 700\text{ nm}$ , del espectro electromagnético.

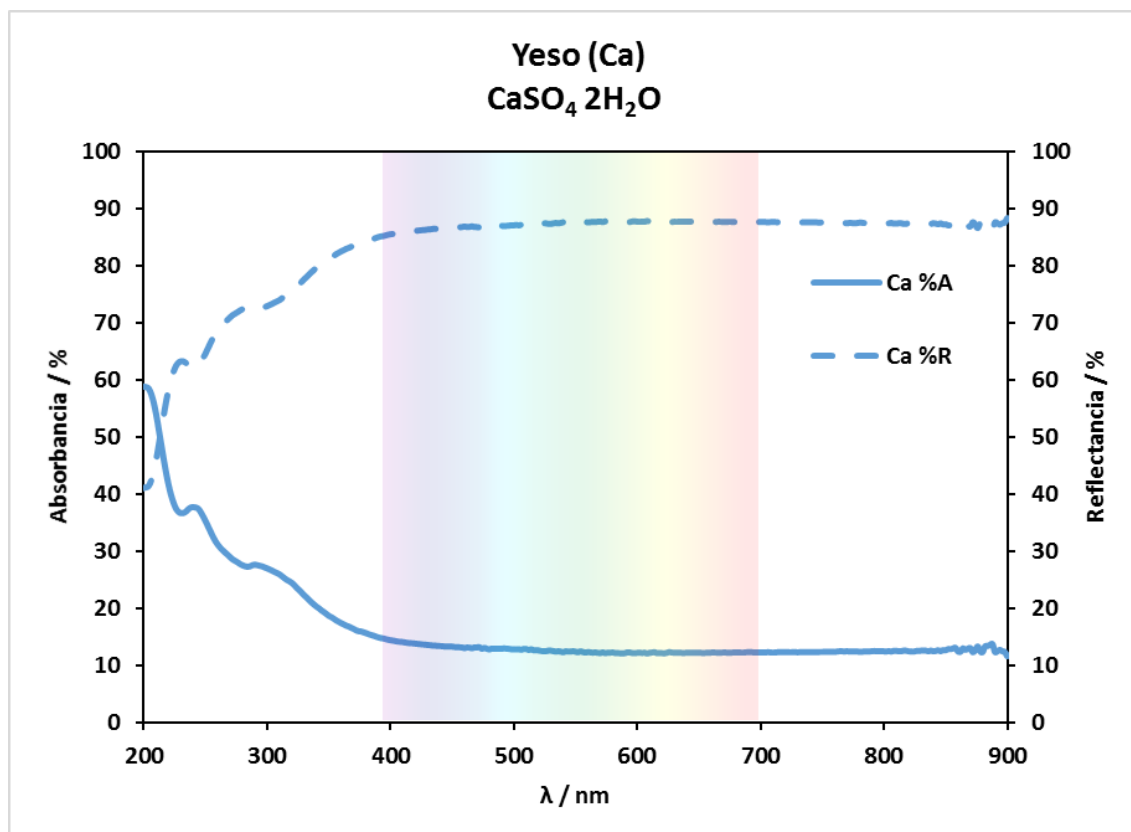


Figura 4.35: Espectro de absorción y reflectancia de UV-Vis del yeso sin exposición.

Las familias de planos cristalográficos del yeso se muestran en la figura 4.36 (Swanson, Gilfrich y Cook, 1956).

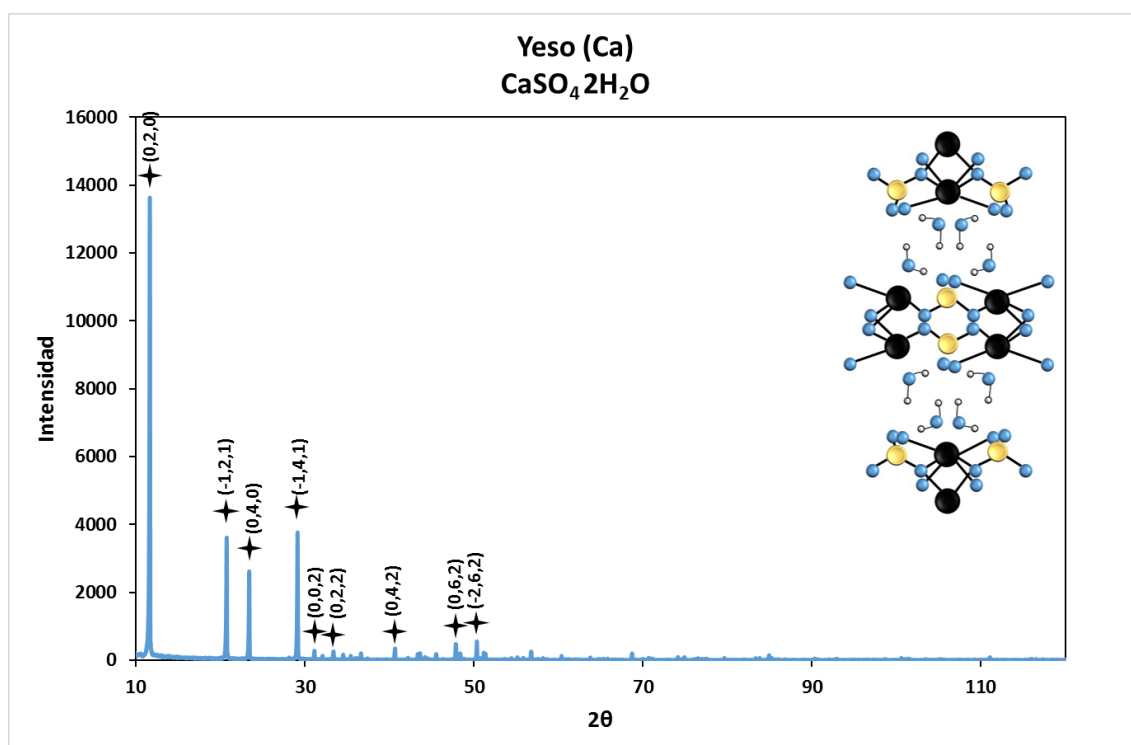
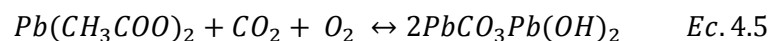
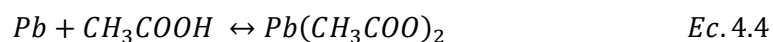


Figura 4.36: Espectro de difracción de RX del yeso sin exposición. En la esquina superior derecha se observa su estructura formada por átomos de Ca (negro), S (amarillo); O (azul) y H (blanco).

### Blanco de plomo

El blanco de plomo es uno de los pigmentos más empleados a lo largo de la historia. Sus usos cruzan todos los siglos y todas las civilizaciones. Es uno de los primeros pigmentos sintéticos. Se trata de un carbonato básico de plomo, de fórmula  $2\text{PbCO}_3\text{Pb(OH)}_2$ . Puede encontrarse en la naturaleza como hidrocerusita, pero esta escasamente extendido y en general se sintetiza. El proceso de síntesis empleado por los griegos y probablemente también por los chinos, se describe de forma detallada por Plinio, Teofrasto y Vitruvio y fue su base de fabricación hasta el siglo XVII, cuando se desarrollaron otras metodologías. La receta describe como se expone un material lleno de plomo a los humos de vinagre, lo cual provoca la acción corrosiva del ácido acético y da lugar al anhídrido de carbono como se describe en las Ec. 4.4 y Ec. 4.5.



Este pigmento cayó en desuso al calificarse como tóxico y fue reemplazado en los años 20 por el óxido de titanio, que además tiene mayor poder cubriente (Judd, 1975).

La banda estrecha e intensa a la derecha de la figura 4.37 a  $680\text{ cm}^{-1}$  se ha asignado con la flexión ( $\nu_4$ ) del  $\text{CO}_3^{2-}$ . A  $1.042\text{ cm}^{-1}$  se ha encontrado la tensión simétrica ( $\nu_1$ ) y a  $1.397\text{ cm}^{-1}$  con una mayor intensidad la asimétrica ( $\nu_3$ ) del  $\text{CO}_3^{2-}$ . Por otro lado, los modos vibracionales de los OH se han observado en las bandas que aparecen a  $2.416$  y  $3.526\text{ cm}^{-1}$ , correspondientes a las tensiones de los OH (Bracci *et al.*, 2015).

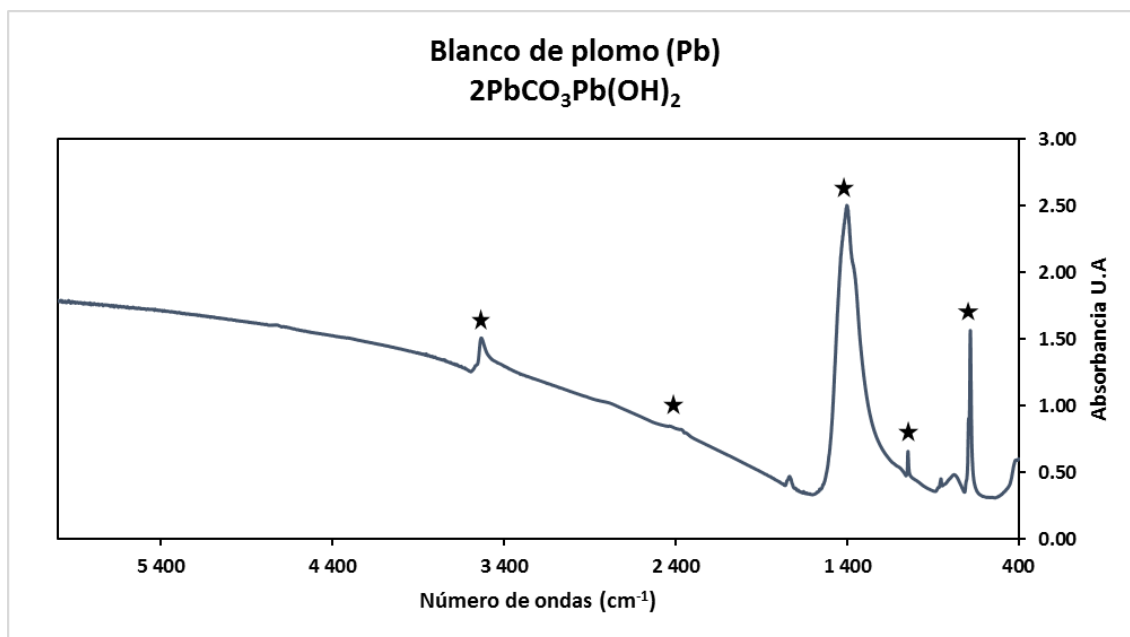


Figura 4.37: Espectro de FTIR por transmisión del blanco de plomo sin exposición.

En la bibliografía se habla de blanco de plomo básico y neutro. La existencia de bandas a  $838$  y  $2.408 \text{ cm}^{-1}$  en el espectro de FTIR corresponderían con el blanco de plomo neutro, la ausencia de estas bandas en nuestro espectro ha dejado constar que el blanco de plomo estudiado es básico.

En la figura 4.38, al igual que como hemos visto en el caso del yeso no se observa absorción en la zona visible del espectro electromagnético.

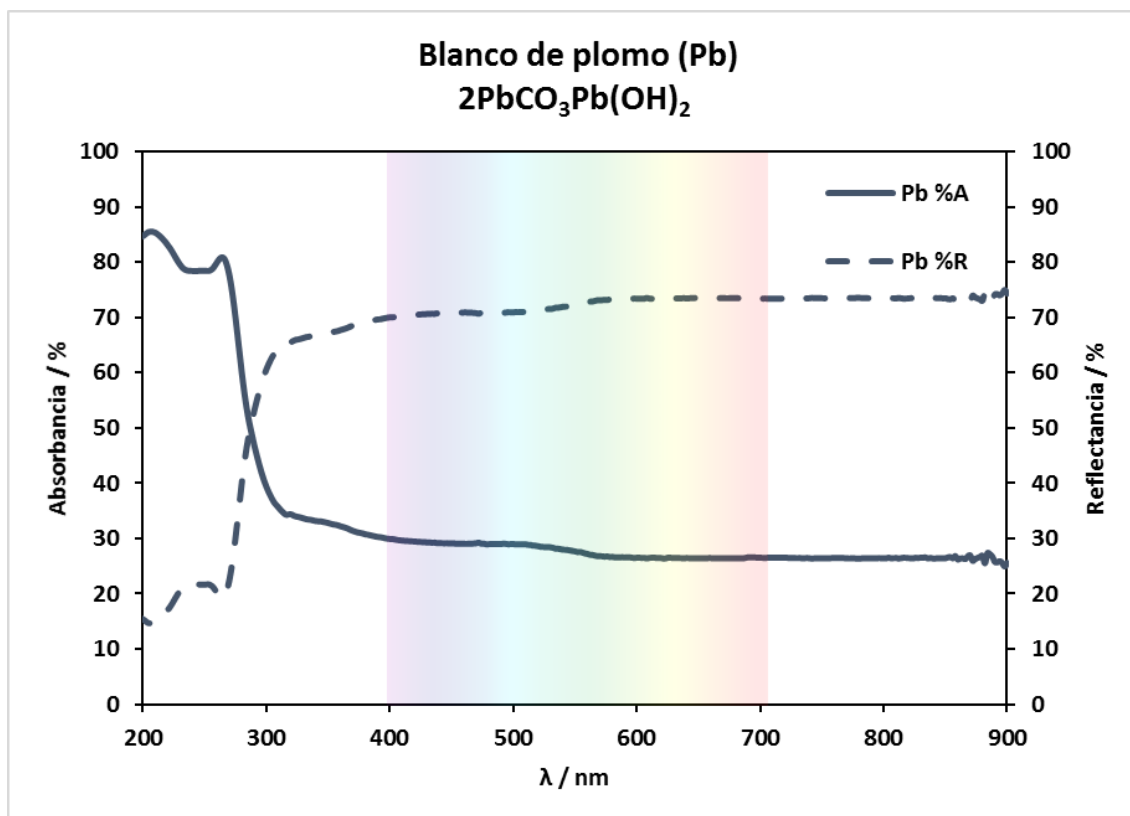


Figura 4.38: Espectro de absorbancia y reflectancia de UV-Vis del blanco de plomo sin exposición.

La figura 4.39 muestra el espectro de RX del blanco de plomo con sus familias de planos cristalográficos (Swanson, Gilfrich y Cook, 1956).

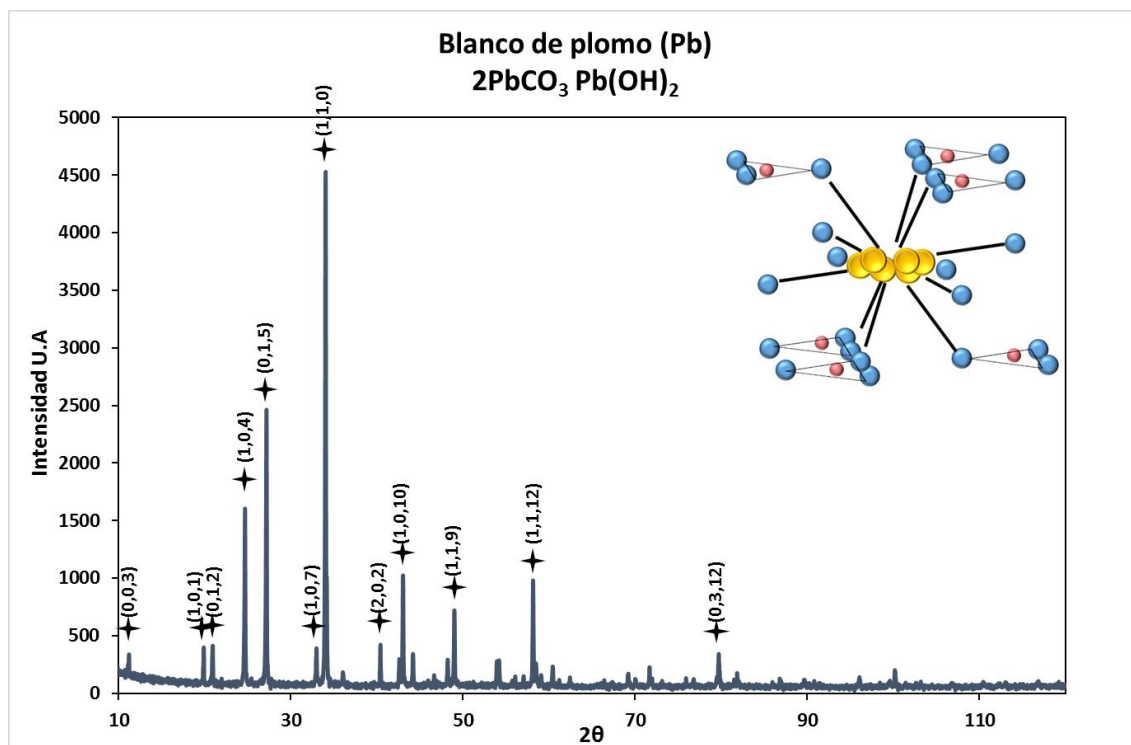


Figura 4.39: Espectro de difracción de RX del blanco de plomo sin exposición. En la esquina superior derecha se observa su estructura formada por átomos de Pb (amarillo); O (azul) y C (rosa).

### Bermellón o cinabrio

El bermellón o cinabrio es uno de los pigmentos más importantes y preciosos en la historia del arte. Se ha encontrado en frescos chinos que datan del segundo milenio antes de Cristo. Su introducción en la cuenca del Mediterráneo y por tanto en sus civilizaciones, se le atribuye a los griegos. Era desconocido por los egipcios hasta la llegada del imperio romano. Este pigmento se obtiene por simple molienda del mineral que lleva su nombre. (WebExhibits.org).

Se emplea el término cinabrio cuando el pigmento deriva de su mineral homónimo, mientras que se denomina como bermellón cuando su procedencia es sintética, es decir, se prepara a partir de mercurio y azufre. Es posible que en la antigua Grecia se emplearan ambos tipos, ya que autores griegos como Theophrastus conocían el uso de su forma sintética (Martín-Gil *et al.*, 1994).

Una mezcla de mercurio y azufre se calienta en un recipiente de cuello estrecho y el sulfuro de mercurio se forma por condensación en la parte superior del recipiente. En algunas condiciones, no muy predecibles, el cinabrio tiende a ennegrecerse dando lugar al metacinabrio ( $\alpha'$ -HgS), se cree que puede deberse a procesos fotoquímicos, pero no está confirmado (Martín-Gil *et al.*, 1995).

Es un sulfuro de mercurio, de fórmula  $\alpha$ -HgS y se trata de un material semiconductor, por lo que su color se debe a la transición de electrones que se produce entre la banda de valencia y la banda de conducción.

Por lo general, los sulfuros metálicos son transparentes al infrarrojo cercano, sus bandas características se encuentran en el infrarrojo lejano. En el caso del cinabrio la banda principal

está cerca de  $342\text{ cm}^{-1}$  (Ostrooumov, 2007). Los estudios que se han realizado por FTIR barrieron de  $400$  a  $7.000\text{ cm}^{-1}$ , es por ello que no se han mostrado resultados por FTIR de este pigmento.

La figura 4.40 muestra el máximo de reflexión en la longitud de onda correspondiente al rojo de la zona visible del espectro electromagnético.

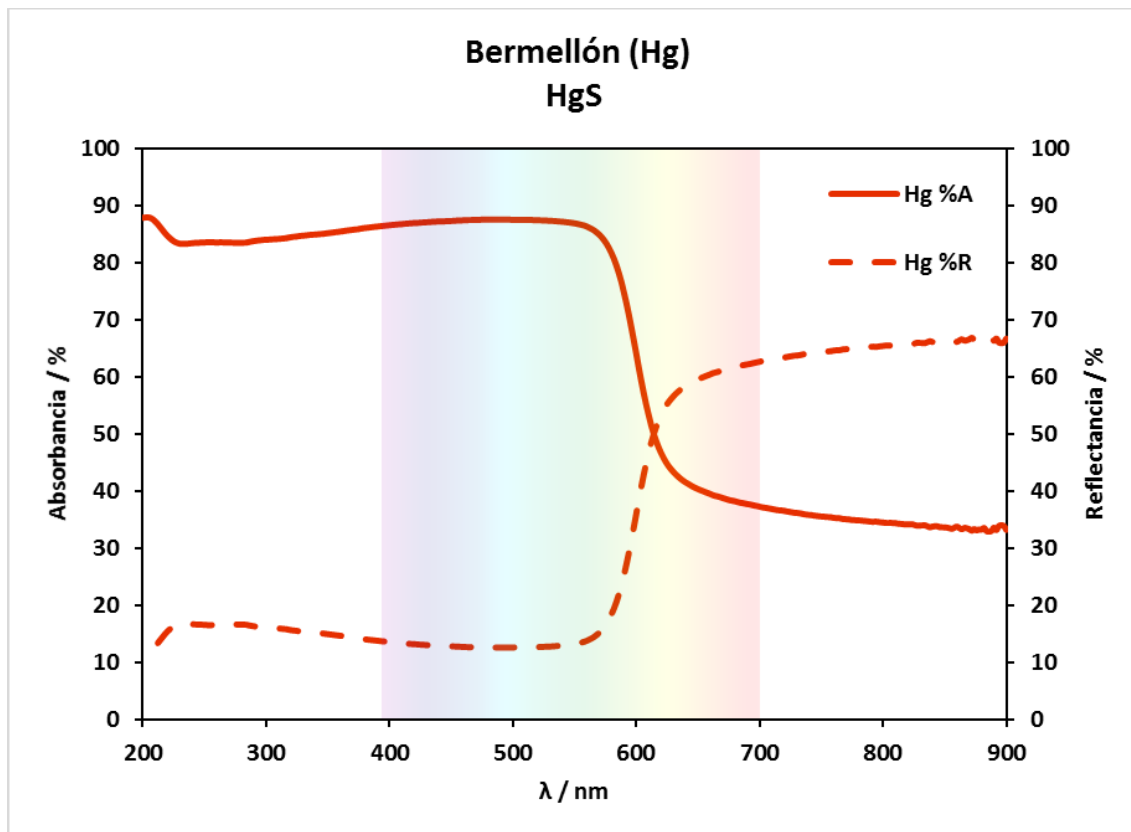


Figura 4.40: Espectro de absorción y reflectancia de UV-Vis del bermellón sin exposición.

La familia de planos cristalográficos del HgS pueden verse en la figura 4.41 (Swanson, Gilfrich y Cook, 1956).

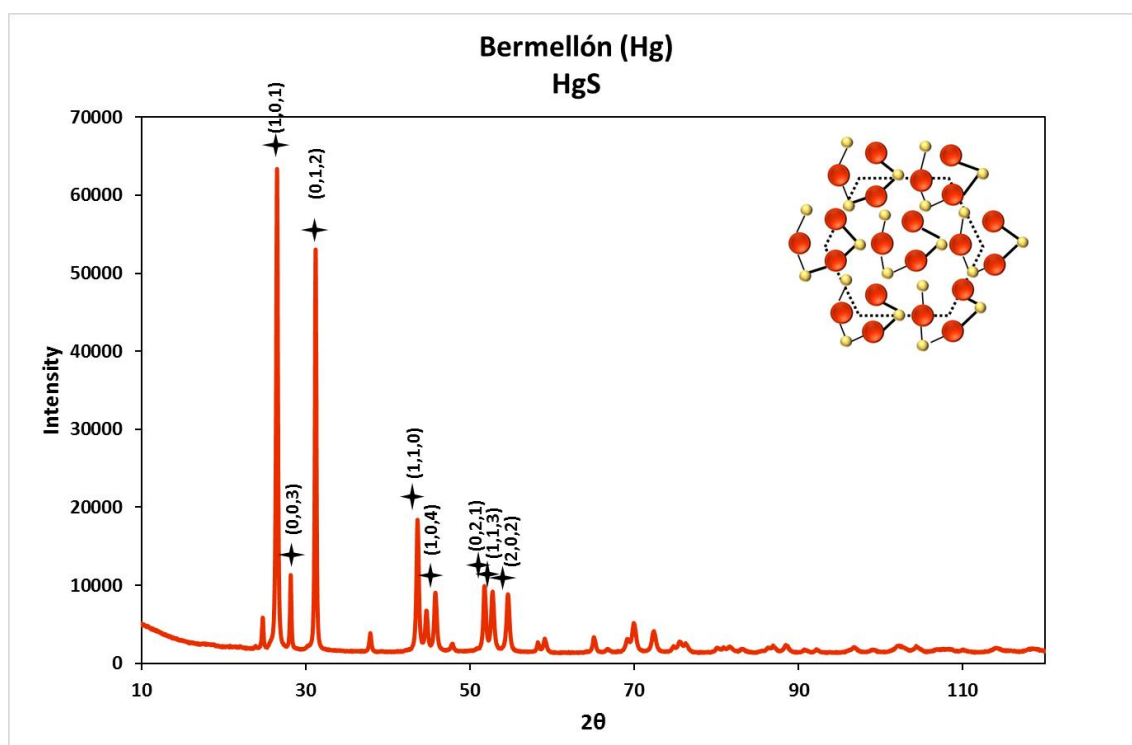


Figura 4.41: Espectro de difracción de RX del Bermellón sin exposición. En la esquina superior derecha se observa su estructura formada por átomos de Hg (rojo) y S (amarillo).

### Goma Arábica

La goma arábica es un polisacárido de origen natural. Se extrae de la resina de ciertas variedades de Acacias. Se trata de una sustancia producida por la propia planta para cerrar sus heridas y evitar la entrada de gérmenes. Para provocar su producción se suelen producir cortes longitudinales paralelos y poco profundos de entre 40 - 60 mm. Esta resina de color ámbar se recolecta normalmente a mano una vez seca (<https://www.quiminet.com>).

Ya los egipcios la utilizaban en el proceso de momificación y en la elaboración de algunos cosméticos y perfumes. También se utilizaba en la elaboración de tintes y como ligante en sus policromías.

Químicamente se trata de un polisacárido con cantidades variables de D-galactosa, L-arabinosa, L-ramnosa y algunos ácidos derivados como el ácido D-glucorónico o el 4-O-metil-D-ácido glucorónico. Es una sustancia de color amarillento a pardo, inflamable, aunque con un elevado punto de inflamación ( $>250^{\circ}\text{C}$ ), muy soluble en agua (aprox. 500 g/l).

Las estrellas de la figura 4.42 señalan las bandas a  $1.073$ ;  $1.430$ ;  $1.608$  y  $3.417\text{ cm}^{-1}$ . La primera de ellas se ha asignado con la tensión de los enlaces C-O y la segunda de ellas con la flexión de los grupos C-H. Las dos últimas bandas corresponden a los grupos OH siendo la flexión y tensión de dichos grupos OH respectivamente (Vetter *et al.*, 2010; Ayuni *et al.*, 2013).

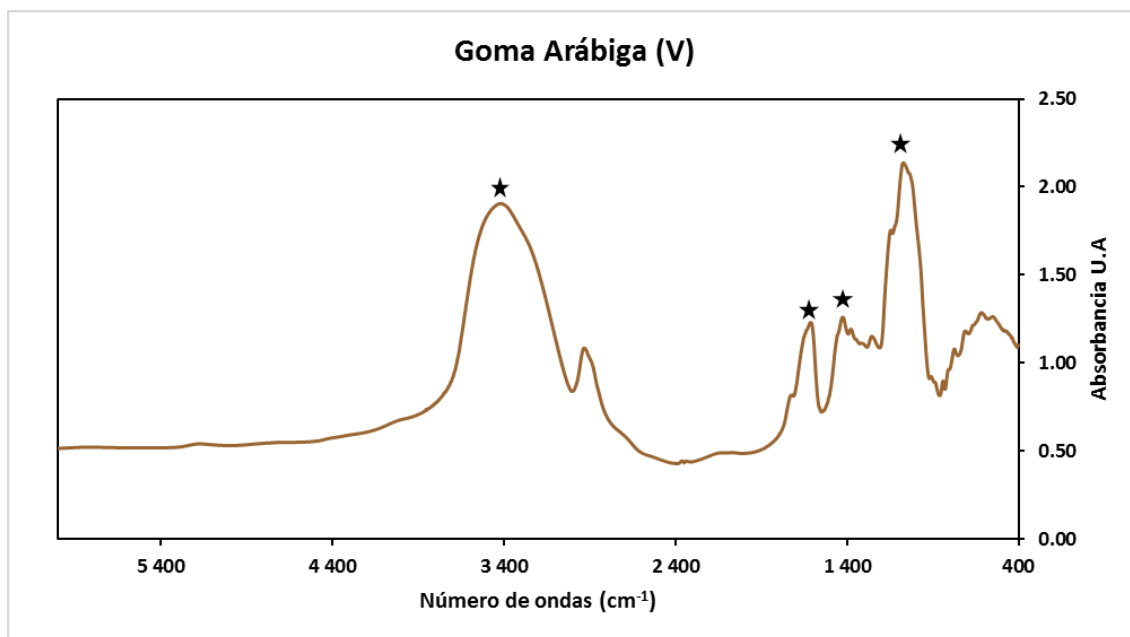


Figura 4.42: Espectro de FTIR por transmisión de la goma arábica sin exposición.

Se trata de un polvo ligeramente amarillento. La figura 4.43 muestra su absorbancia y reflectancia en espectroscopia UV-Vis.

Puesto que los ligantes o aglutinantes no son sustancias cristalinas, sino que se trata de sustancia amorfas, no se han realizado análisis por espectroscopia de RX para estas muestras.

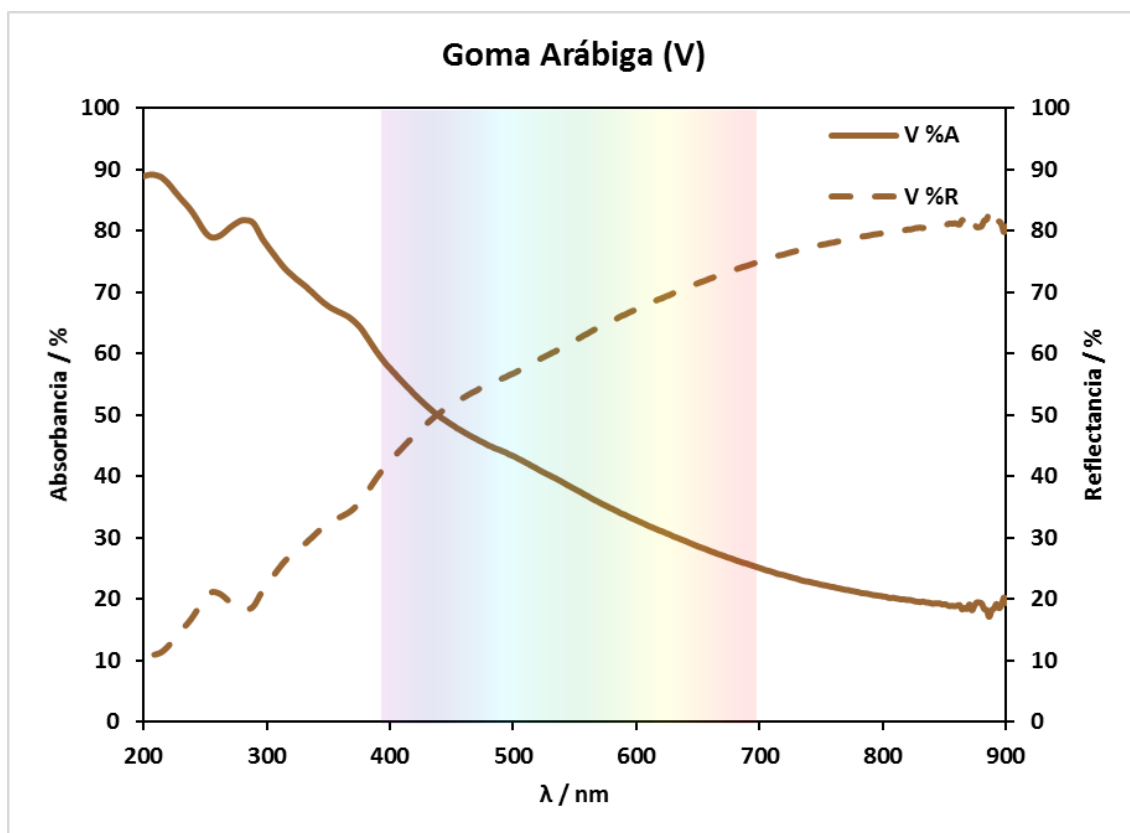


Figura 4.43: Espectro de absorbancia y reflectancia de UV-Vis de la goma arábica sin exposición.



### Cola animal

La cola animal es un aglutinante o pegamento usado desde tiempos antiguos. Pertenece a la familia de las colas naturales junto con la cola de conejo y la cola de caseína. Deriva de los huesos y carcasas de animales por lo que su componente principal es el colágeno.

La proteína de colágeno es de tipo fibroso con funciones estructurales. Las fibras están formadas por cadenas con una estructura de  $\alpha$ -hélice agregada en grupos de tres a través del efecto estabilizador de fuertes enlaces de hidrógeno intermoleculares. Esta estructura característica del colágeno está vinculada a una composición rica en glicina, alanina, prolina e hidroxiprolina.

Tiene una baja solubilidad en agua por lo que es necesario calentar al baño maría para que se produzca su solubilidad. Las fibras se separan en sus cadenas individuales y se dispersan aleatoriamente en el líquido. Con el enfriamiento y la evaporación del agua, las cadenas tienden a volver a ensamblarse en la estructura original de la  $\alpha$ -hélice. Sin embargo, la imposibilidad de una realineación hace que las cadenas se unan con diferentes cadenas lo cual conduce a la formación de una red estable de fuertes enlaces de hidrógeno entre las diversas cadenas. Esta película es reversible, ya que, puede volver a solubilizarse con agua caliente (Mayer, 1991).

En la figura 4.44 las estrellas señalan las bandas de amida I y amida II. A  $1.543\text{ cm}^{-1}$  se ha encontrado la banda amida II producida por la deformación C-N-H y la tensión O-C-N, mientras que a  $1.654\text{ cm}^{-1}$  se ha observado la banda amida I cuya componente principal es la tensión C=O (Gruchow *et al.*, 2009).

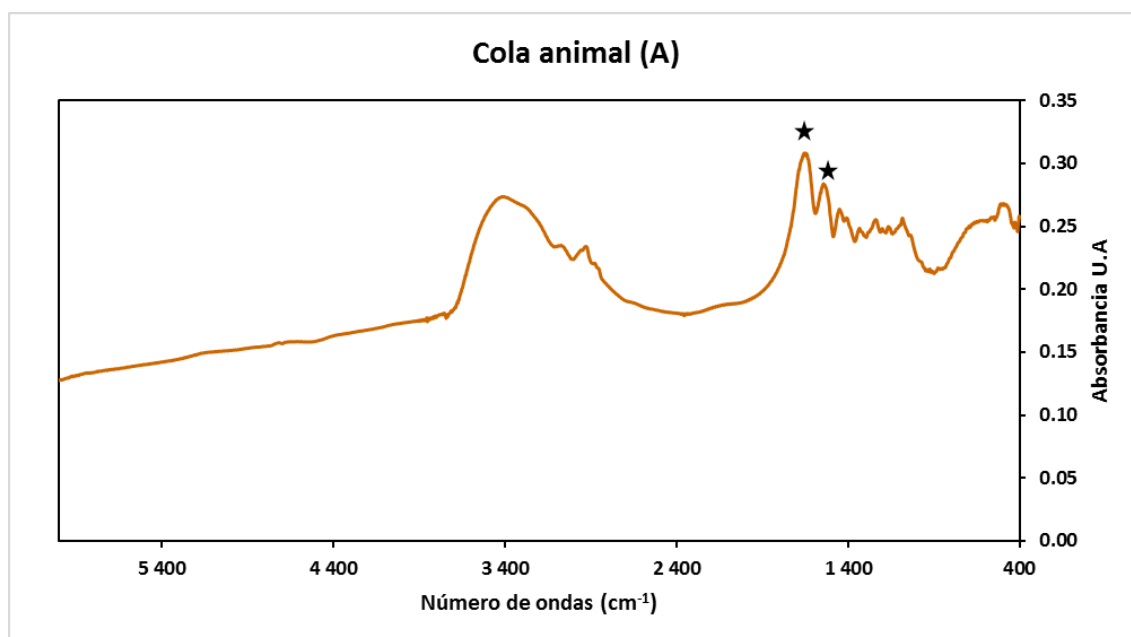


Figura 4.44: Espectro de FTIR por transmisión de la cola animal sin exposición.

Es un polvo de tonalidad amarillenta similar a la goma arábiga. En la figura 4.45 se observa que tanto el espectro de absorbancia como el de reflectancia de este aglutinante animal son similares al del aglutinante de origen vegetal representado anteriormente en la figura 4.43.

Al igual que en el caso de la goma arábiga, la cola animal también es un amorfo, por lo que no se han realizado análisis por espectroscopia de rayos X.

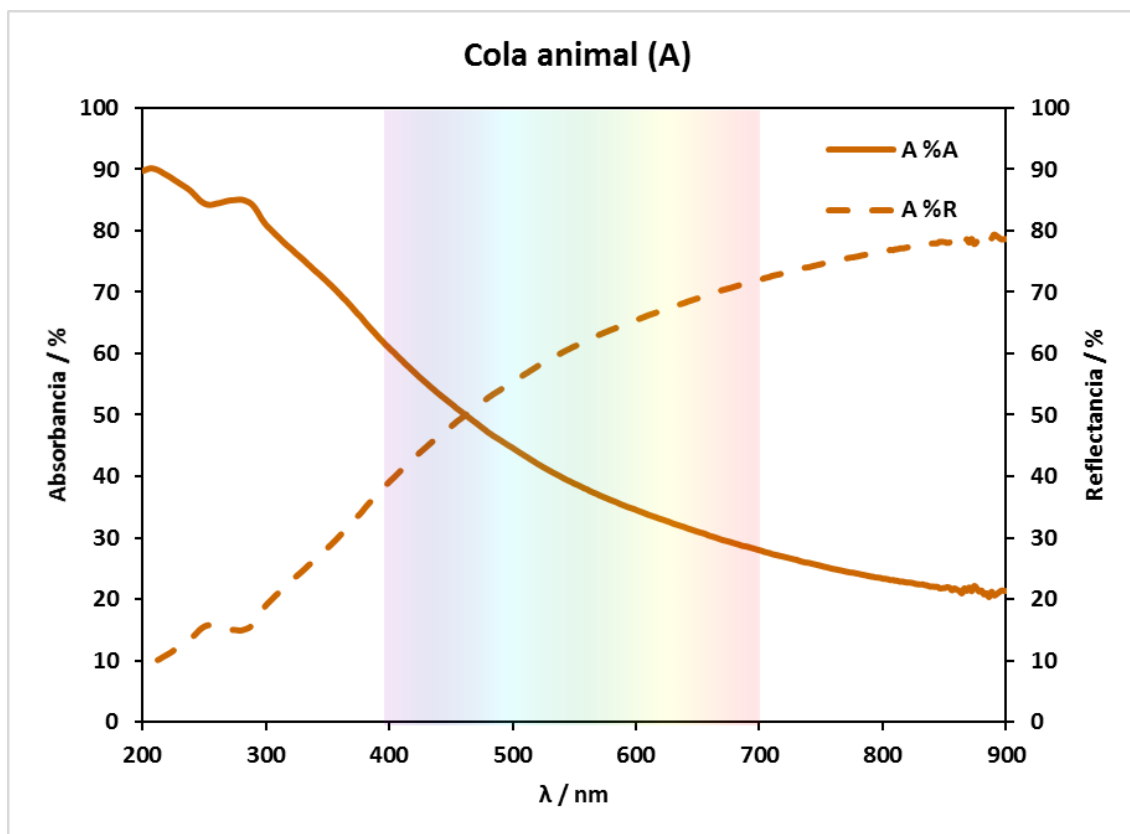


Figura 4.45: Espectro de absorción y reflectancia de UV-Vis de la cola animal sin exposición.

#### 4.10.2. Resultados de la exposición a un contaminante de forma individual:

Las muestras de pigmentos expuestas a los VOCs se han analizado por espectroscopia UV-Vis y FTIR, y tras los resultados obtenidos se han analizado las muestras seleccionadas de mayor interés mediante DRX.

A simple vista no se observan cambios de color aparentes en las muestras tras la exposición a los VOCs. Los resultados que se han obtenido por espectroscopia de UV-Vis no han mostrado cambios en las bandas de absorción y reflexión. Tan solo en el caso de la malaquita expuesta a hexanal (Cu-4) y a ácido acético (Cu-11) se ha observado un estrechamiento en dichas bandas debido a un cambio en la intensidad del color. La figura 4.46 muestra las bandas de reflexión para la malaquita sin exposición y la malaquita expuesta a hexanal y ácido acético.

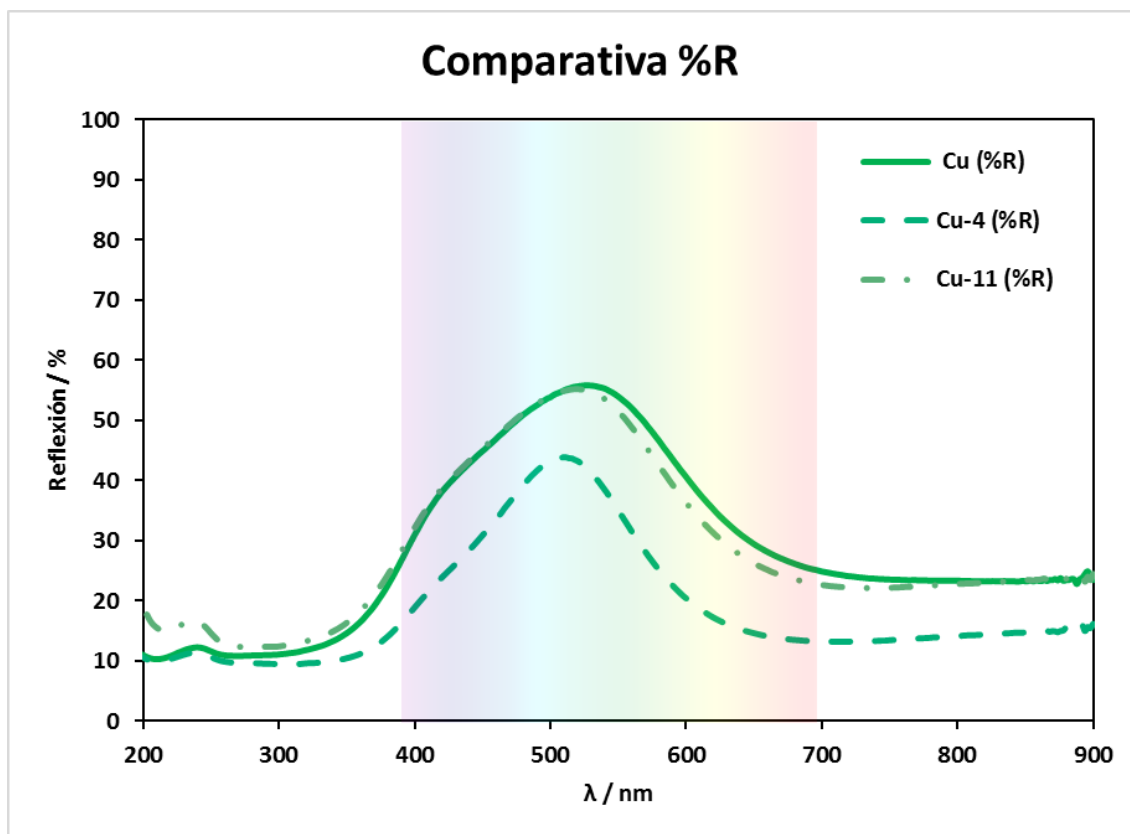


Figura 4.46: Espectros de reflexión de la Malaquita sin exposición y con exposición a hexanal (Cu-4) y ácido acético (Cu-11).

Por otra parte, los análisis de FTIR han mostrado diferencias significativas para los aldehídos, los siloxanos, el ácido acético y la oxima como se puede observar en las siguientes figuras. Las estrellas de la figura 4.47 marcan las distintas bandas formadas tras la exposición de la hematita a los VOCs de forma individual. De los 12 VOCs estudiados solo se han encontrado alteraciones significativas en los aldehídos y los siloxanos. La oxima, se ha estudiado al ser uno de los componentes principales de las siliconas neutras que se emplean para el montaje de las vitrinas.

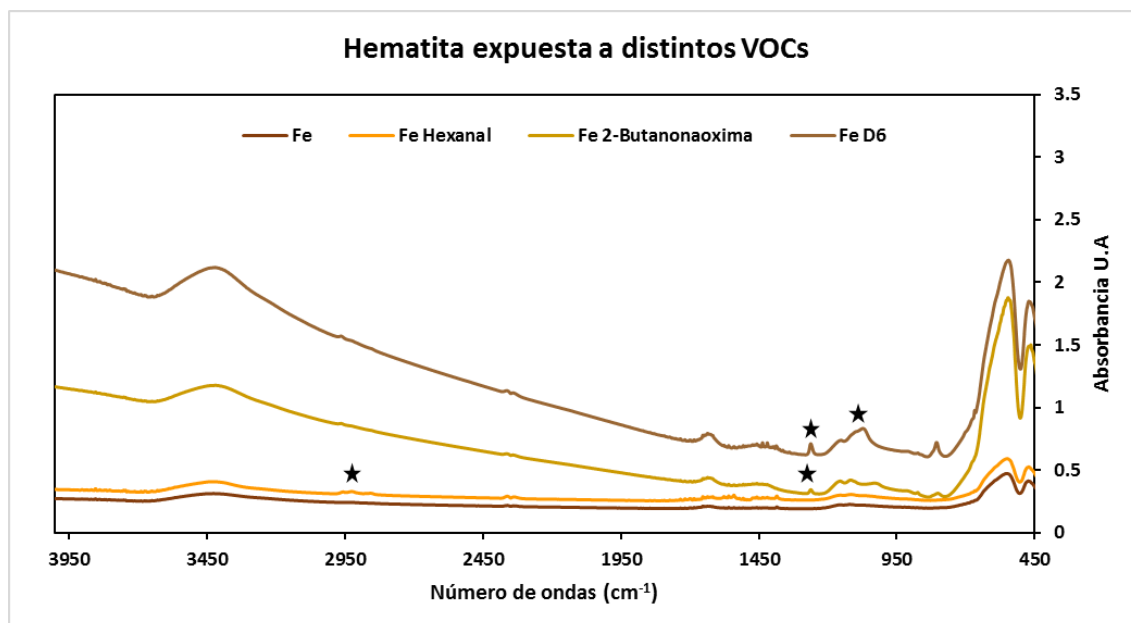


Figura 4.47: Espectros de FTIR transmisión de la Hematita sin exposición y expuesta.

En el caso de la exposición al aldehído se ha observado una banda doble muy sutil a aproximadamente  $2.900 - 2.800 \text{ cm}^{-1}$  que se ha asignado con el doblete de Fermi de los aldehídos. Mientras que en el caso del siloxano se ha observado un incremento en la banda de vibración de Si-O a unos  $1.250 \text{ cm}^{-1}$ .

La figura 4.48 nos indica con estrellas las bandas de vibración que se han generado debido a la exposición a los VOCs de los experimentos llevados a cabo. Al igual que en el caso de la hematita, el aldehído y el siloxano han mostrado las mismas bandas en la malaquita, el doblete de Fermi y la vibración Si-O. Sin embargo, en este caso el ácido acético parece haber alterado este pigmento, ya que se observa una banda de alta intensidad a aproximadamente  $1.650 \text{ cm}^{-1}$  que corresponde con la tensión simétrica de grupo C=O.

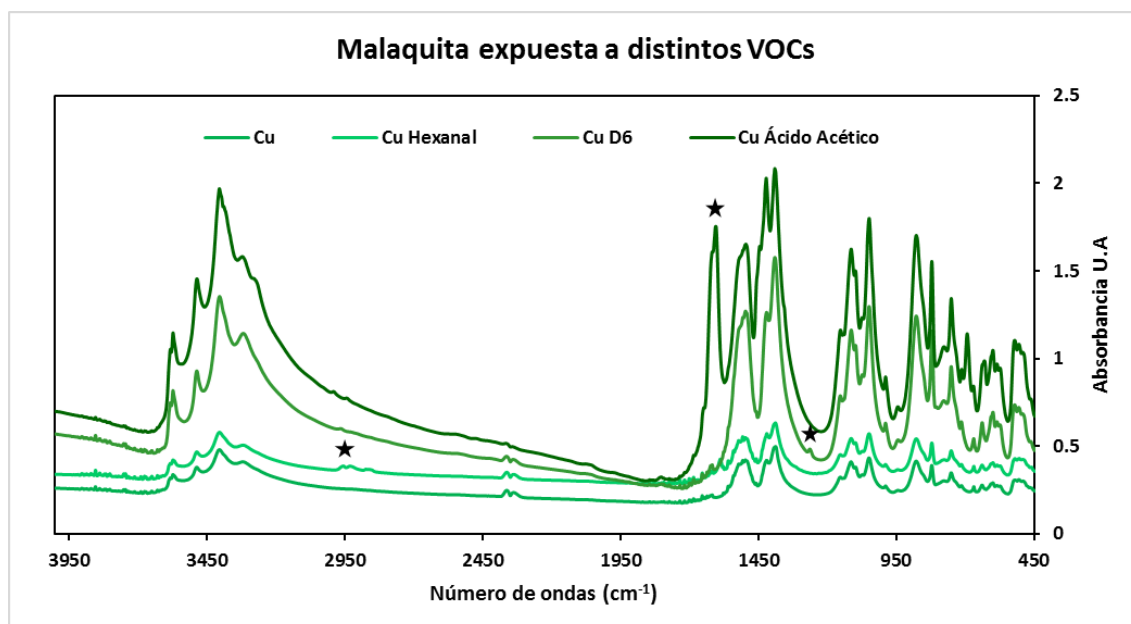


Figura 4.48: Espectros de FTIR transmisión de la Malaquita sin exposición y expuesta.

En el caso del yeso, figura 4.49, el aldehído ha mantenido la formación del doblete de Fermi y el siloxano la banda vibracional del Si-O. Por otro lado, en este último caso se han observado nuevas bandas a 2.950; 880 y 795  $\text{cm}^{-1}$  que se han asignado con la tensión simétrica de los C-H en el caso de la primera banda y en el caso de las dos últimas con la tensión simétrica del Si-OH.

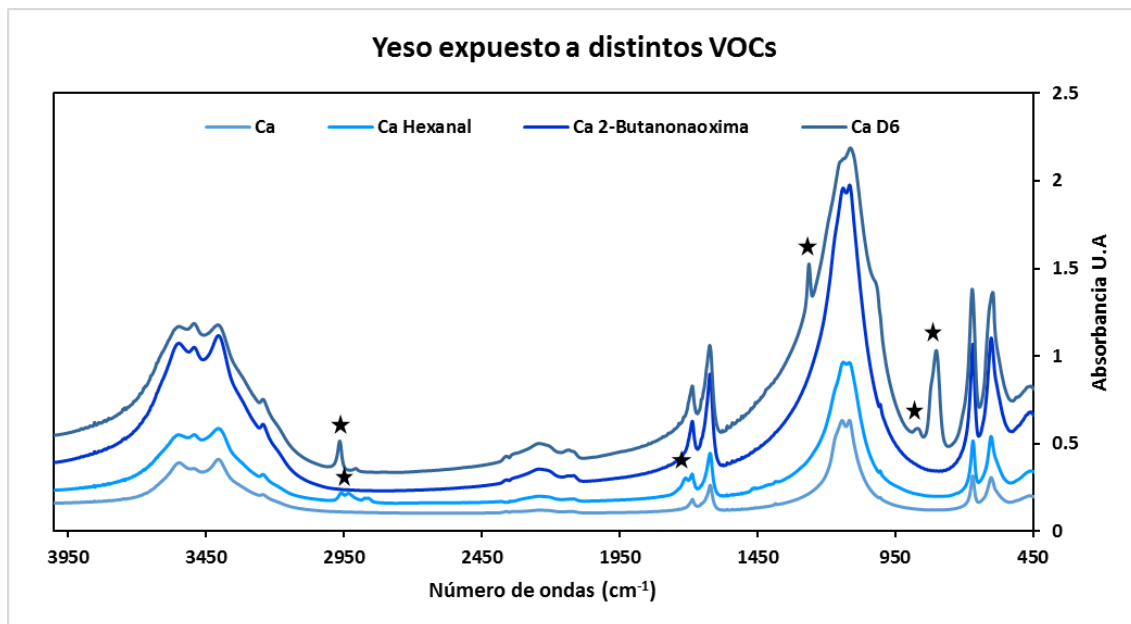
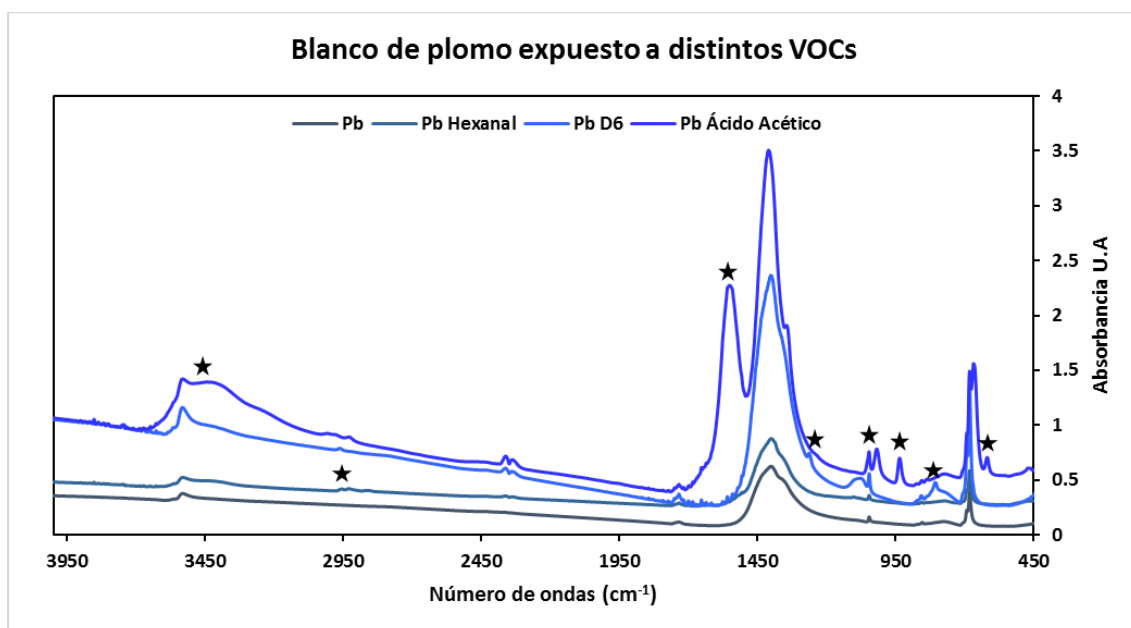


Figura 4.49: Espectros de FTIR transmisión del yeso sin exposición y expuesto.

La figura 4.50 muestra como la exposición al ácido acético ha generado bandas vibracionales nuevas a 610; 920; 1.010; 1.539 y 3.411  $\text{cm}^{-1}$  que se han relacionado con la formación de fosgenita, esta fase de carbonato de plomo es muy inestable y se altera con facilidad dando lugar a la cerusita como se muestra más adelante en los resultados de los análisis por DRX. Mientras que el aldehído y el siloxano han mantenido las bandas a 2.900 y 1.200  $\text{cm}^{-1}$  ya observadas en los otros pigmentos. Además de unas bandas nuevas, en este caso a 1.072 y 823  $\text{cm}^{-1}$ , que se han asignado con la fase cristalina de la cerusita.

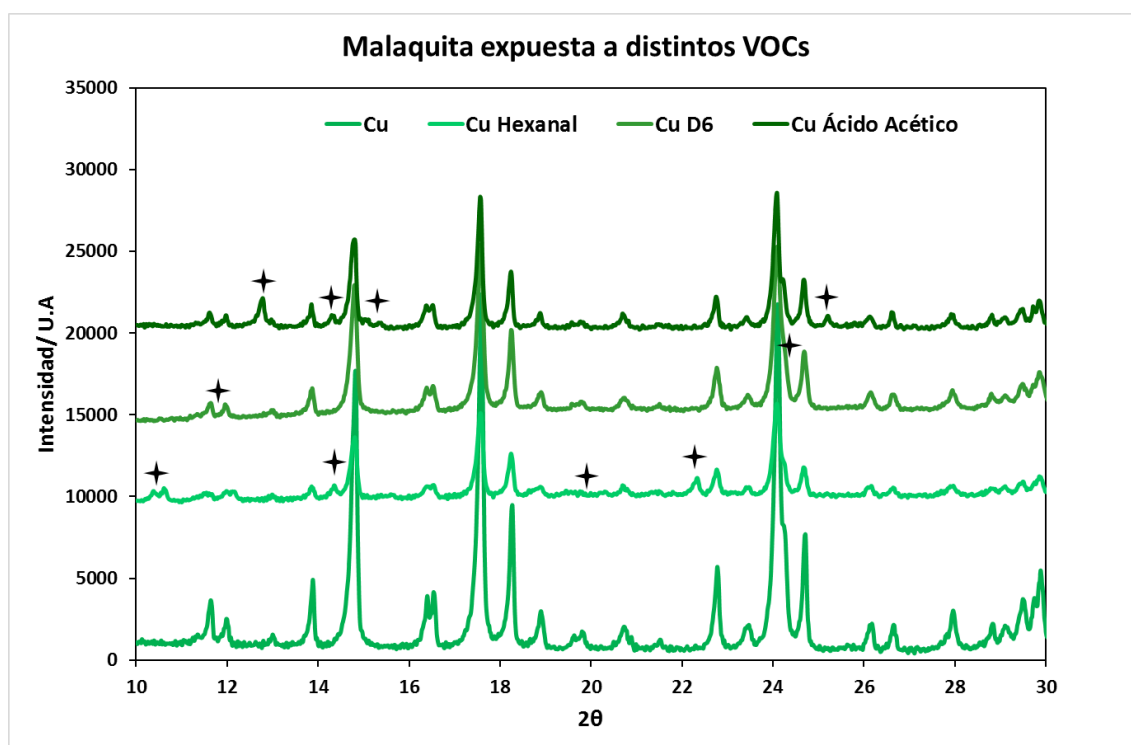


**Figura 4.50: Espectros de FTIR transmisión del blanco de plomo sin exposición y expuesto.**

A continuación, se exponen los análisis de DRX de las muestras sobre las que se han encontrado alteraciones en FTIR.

Tanto para la hematita como para el bermellón no se han encontrado nuevas fases cristalinas, ni alteraciones en su fase cristalina tras la exposición a los VOCs. Esto indica que, dada su estabilidad química, en el caso de estos pigmentos, la alteración que han producido los contaminantes es tan solo superficial.

Asimismo, la malaquita, el yeso y el blanco de plomo si han mostrado alteraciones en sus fases cristalinas al compararse los difractogramas obtenidos de dichos pigmentos sin exposición, frente a los obtenidos tras la exposición. Las figuras de la 4.51 a la 4.53 muestran estos resultados.



**Figura 4.51: Difractograma de la malaquita sin exposición vs a los difractogramas de la malaquita expuesta a distintos VOCs.**

En el difractograma del pigmento de malaquita sin exposición (Cu de la figura 4.51) se han encontrado las siguientes fases cristalinas: de la familia de los sulfatos la antlerita, la brochantita y el yeso; de la familia de los sulfuros de cobre la covelina y de la familia de los carbonatos se ha hallado la fase cristalina de la malaquita y por último un fosfato de cobre, la pseudomalaquita (Pough, 1998).

Al llevar acabo la exposición a distintos VOCs se ha observado que aparecen y desaparecen distintos picos correspondientes a las distintas familias de planos cristalográficos, estos se han señalado en la figura 4.51 con estrellas de cuatro puntas.

Al exponer el pigmento de malaquita al hexanal y realizar su análisis por DRX se ha hallado que las fases cristalinas obtenidas son la malaquita, la antlerita y el yeso. El aldehído ha alterado el fosfato, el sulfuro y uno de los sulfatos de cobre (pseudomalaquita, covelina y brochantita respectivamente).

La exposición al siloxano es la menos perceptible, sin embargo, el fosfato se ha visto alterado, su fase cristalina no se ha detectado en los análisis realizados y se ha pasado a observar la fase cristalina del  $\text{SiO}_2$ .

Por último al observar la variación de los picos del difractograma de la malquita tras su exposición al ácido acético, se ha visto como las fases de la pseudomalaquita y la covelina desaparecen y se ha generado la fase cristalina de la hoganita.

Estas alteraciones se han visto reflejadas en el perceptible cambio de color del pigmento. La tonalidad del verde ha variado llegando a tonos más azulados como en el caso de la hoganita tras la exposición a ácido acético.

La fase cristalina encontrada al realizar los análisis sin exposición (Ca figura 4.23) a VOCs ha sido yeso, es decir, el sulfato de calcio dihidratado. Tras la exposición a los distintos VOCs se observa cómo se produce la pérdida de estas moléculas de agua generándose en todos los casos otra fase cristalina, la correspondiente a la anhidrita y en el caso de la exposición al ácido acético la pérdida de esta hidratación ha sido más severa lo cual ha dado lugar a basanita y anhidrita (Swanson y Gilfrich, 1956).

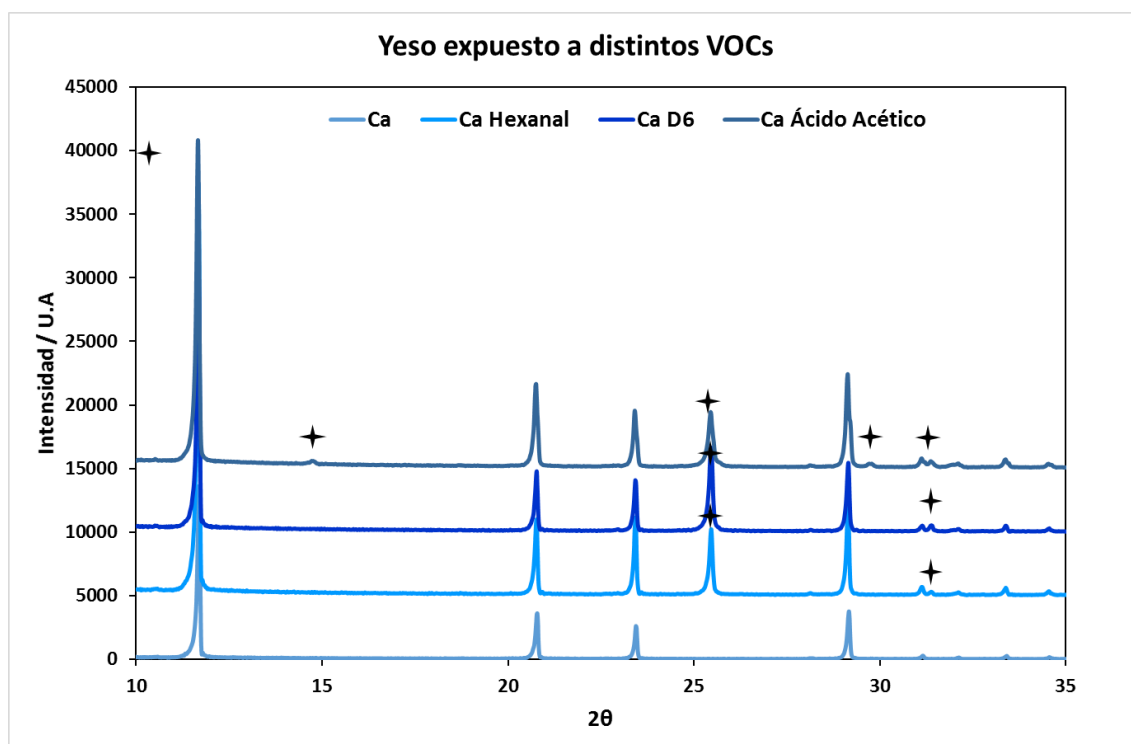


Figura 4.52: Difractograma del yeso sin exposición vs a los difractogramas del yeso expuesto a distintos VOCs.

Estas alteraciones no han producido cambios perceptibles en la coloración del pigmento, pero podrían alterar sus propiedades como prebase en cuanto a adherencia y estabilidad de los pigmentos que sobre ella se apliquen.

Las fases cristalinas que se han encontrado en el difractograma del blanco de plomo sin exposición (Pb de la figura 4.53) se han asignado a la hidrocerusita, es decir, al carbonato básico de plomo (II).



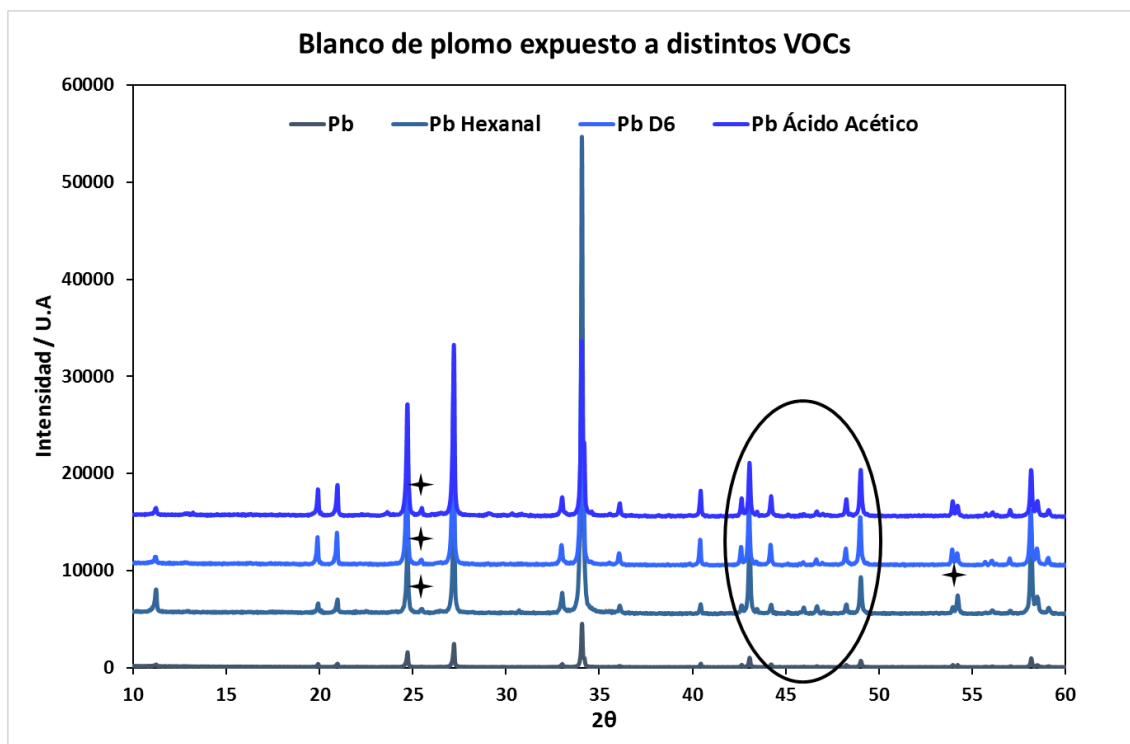


Figura 4.53: Difractograma del blanco de plomo sin exposición vs a los difractogramas del blanco de plomo expuesto a distintos VOCs.

Al exponerse a los distintos VOCs se ha generado en todos los casos otra fase cristalina correspondiente a la cerusita ( $\text{PbCO}_3$ ). Los grupos básicos han sido neutralizados por la mayor acidez de los VOCs.

Las muestras han reflejado la pérdida de agua observada en las fases cristalinas de los difractogramas. Además de un ligero tono amarillento, como se ve en la figura 4.54 en el caso de la exposición al ácido acético, cuya acidez es mucho mayor a la del resto de VOCs estudiados.

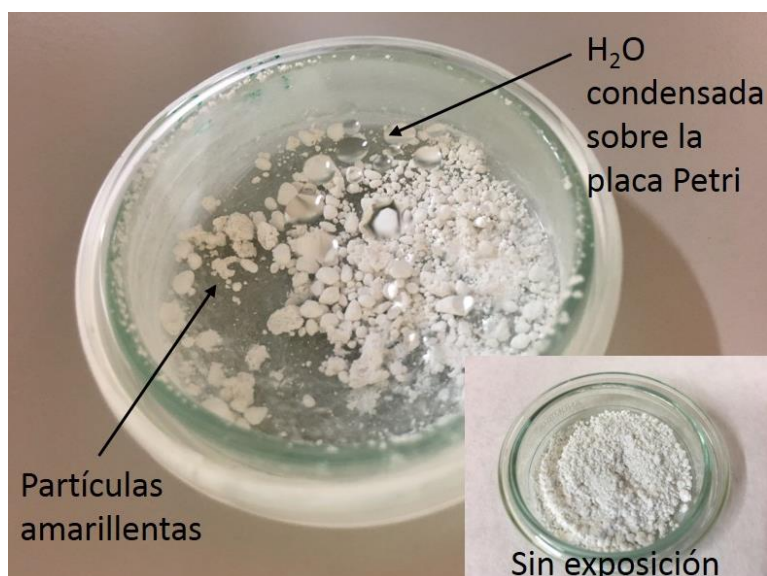


Figura 4.54: La figura muestra el blanco de plomo durante su exposición a ácido acético y se observa la condensación de agua en la parte superior de la placa Petri además del amarilleamiento de las partículas del pigmento. En la esquina inferior derecha se observa el pigmento sin exposición.

### 4.10.3. Resultados de la exposición a mezcla de contaminantes

Para estudiar la sinergia entre los distintos VOCs que han mostrado alteraciones sobre los materiales pictóricos estudiados, se ha realizado un experimento similar al anterior. En este caso, se han generado grupos con los VOCs según se indica en la tabla 4.10.

Tabla 4.10: Lista de las mezclas de contaminantes estudiadas.

Nº	Mezcla contaminantes líquidos
A	dodecametilciclohexasiloxano (D6)
	hexanal
	ácido acético
B	dodecametilciclohexasiloxano (D6)
	hexanal
C	dodecametilciclohexasiloxano (D6)
	ácido acético
D	hexanal
	ácido acético
E	dodecametilciclohexasiloxano (D6)
	hexanal
	formaldehído
	ácido acético

Se han puesto en contacto con las muestras de pigmentos y aglutinantes 50 µl de patrones de calidad analítica de cada uno de los VOCs seleccionados. Las placas Petri se han precintado y se han dejado evaporar los VOCs durante 1 mes. El montaje del experimento se puede observar en la figura 4.55. Transcurrido este tiempo, se ha quitado el precinto y se ha dejado volatilizar el exceso de contaminante a 40 °C bajo vitrina durante 24 h para realizar posteriormente su caracterización y evaluar el efecto de dichos contaminantes en las muestras.

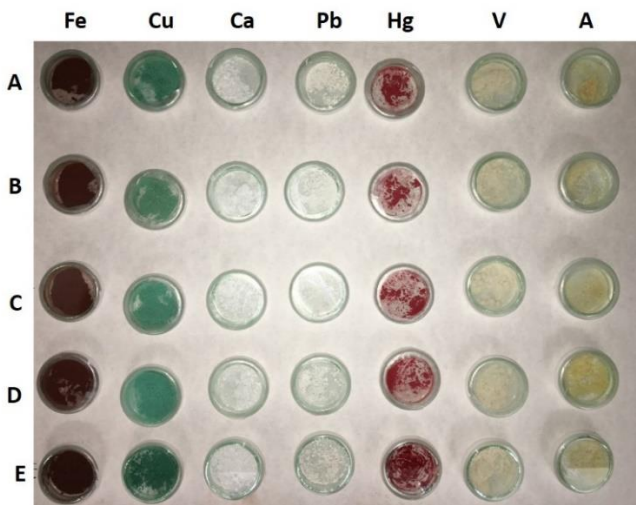


Figura 4.55: Muestras de la batería de ensayos de exposición a mezcla de contaminantes.

Estas muestras se han analizado por espectroscopia UV-Vis y FTIR, y tras los resultados obtenidos se han enviado las muestras más relevantes a DRX.

A simple vista se han observado cambios de color en la malaquita, la tonalidad del verde se ha vuelto de forma sutil más azulada. Esto se ha confirmado al evaluar los espectros de UV-Vis de dichas muestras, ver figura 4.56 donde se puede observar un estrechamiento en la banda de reflexión. En el resto de los pigmentos no se han mostrado alteraciones en los espectros de UV-Vis.

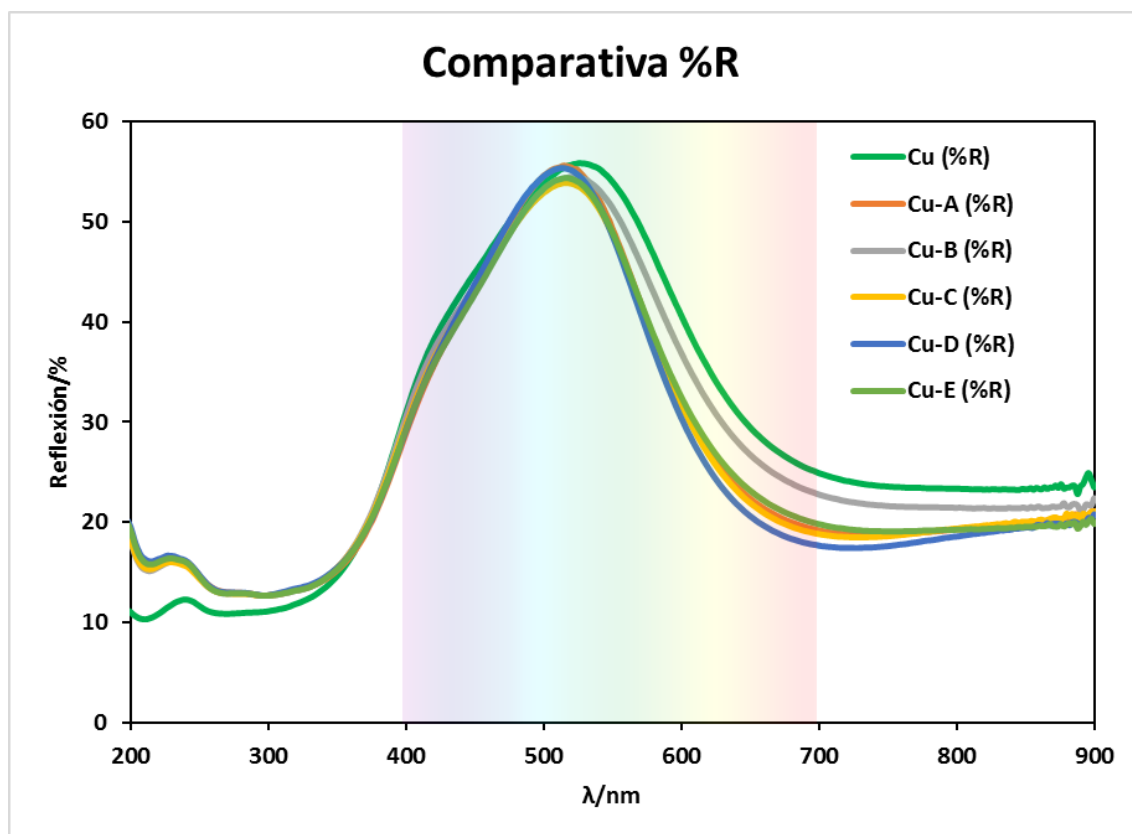


Figura 4.56: Espectros de reflexión de la Malaquita sin exposición y con exposición a las distintas mezclas de contaminantes.

En el caso de la mezcla de VOCs, los análisis de FTIR no han mostrado bandas distintas a las que ya se habían observado en los estudios previos de exposición individual, parece que no se ha producido sinergia entre los distintos VOCs de la mezcla. Los resultados se observan en las figuras de la 4.57 a la 4.60.

Para la hematita, figura 4.57, se observan las bandas del doblete de Fermi (aproximadamente entre  $2.950 - 2.800 \text{ cm}^{-1}$ ) y de la frecuencia de vibración del Si-O (a unos  $1.250 \text{ cm}^{-1}$ ) para aquellas mezclas de VOCs donde se han incluido aldehído y/o siloxano. Destaca como en la mezcla C, no se ha generado la banda de vibración del doblete de Fermi al no contener aldehído dicha muestra. En el caso de la vibración Si-O se ha notado su ausencia en las mezclas E y D. Si bien, en la mezcla D no se ha añadido el siloxano, este si ha estado presente en la muestra E. Por tanto, parece que el restante de los VOCs presentes en esta mezcla han inhibido de alguna manera la interacción del siloxano con el pigmento.

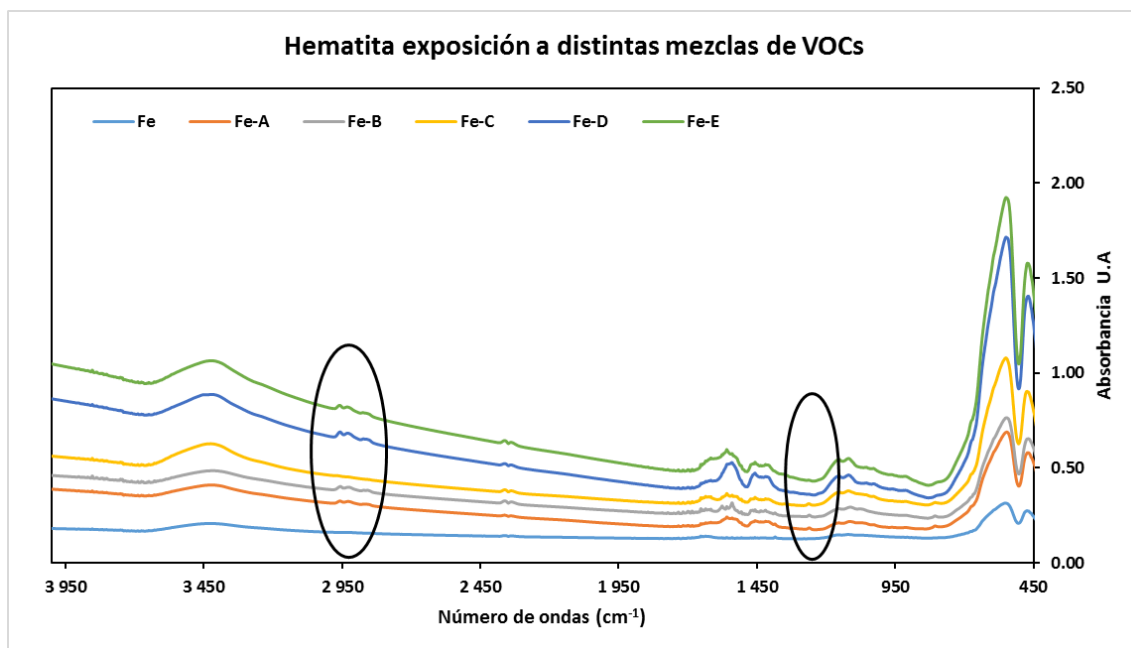


Figura 4.57: Espectros de FTIR transmisión de la Hematita sin exposición y expuesta a las distintas mezclas.

En el caso de la malaquita, figura 4.58, se han determinado las bandas asignadas al doblete de Fermi para las muestras que han contenido aldehído, es decir, en todas excepto en la C. Por otro lado, se ha observado la banda de tensión simétrica del grupo C=O en todas las mezclas en las que se ha incluido ácido acético, es decir en todas excepto en la B. La banda relativa a la frecuencia de vibración del Si-O de los siloxanos ha sido la menos intensa. Esto junto con lo que se ha descrito anteriormente en la figura 4.56, hace pensar que los siloxanos son los VOCs menos reactivos de las mezclas, pudiendo ser inhibidos por el resto de VOCs presentes.

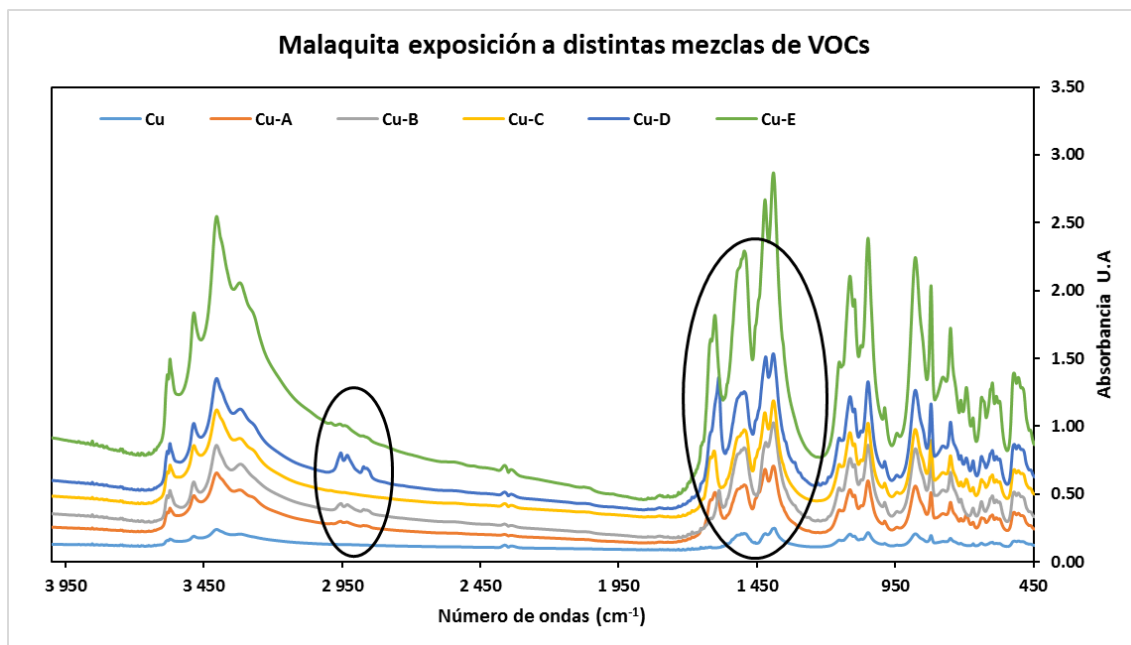


Figura 4.58: Espectros de FTIR transmisión de la Malaquita sin exposición y expuesta a las distintas mezclas.

Al igual que en los casos anteriores, en la figura 4.59, se determinan las bandas asignadas al doblete de Fermi para las muestras que han contenido aldehído, es decir, en todas excepto en la C. Cabe destacar la banda que se ha generado en las mezclas A y B aproximadamente a unos

900 - 880  $\text{cm}^{-1}$ . Esta banda se ha asignado con la tensión simétrica del Si-OH. Esto es coherente con lo que se ha expuesto anteriormente, podría haber una posible inhibición por parte del ácido al siloxano, que se ve limitada cuando el ácido encuentra un VOC con el que presenta mayor afinidad como son los aldehídos.

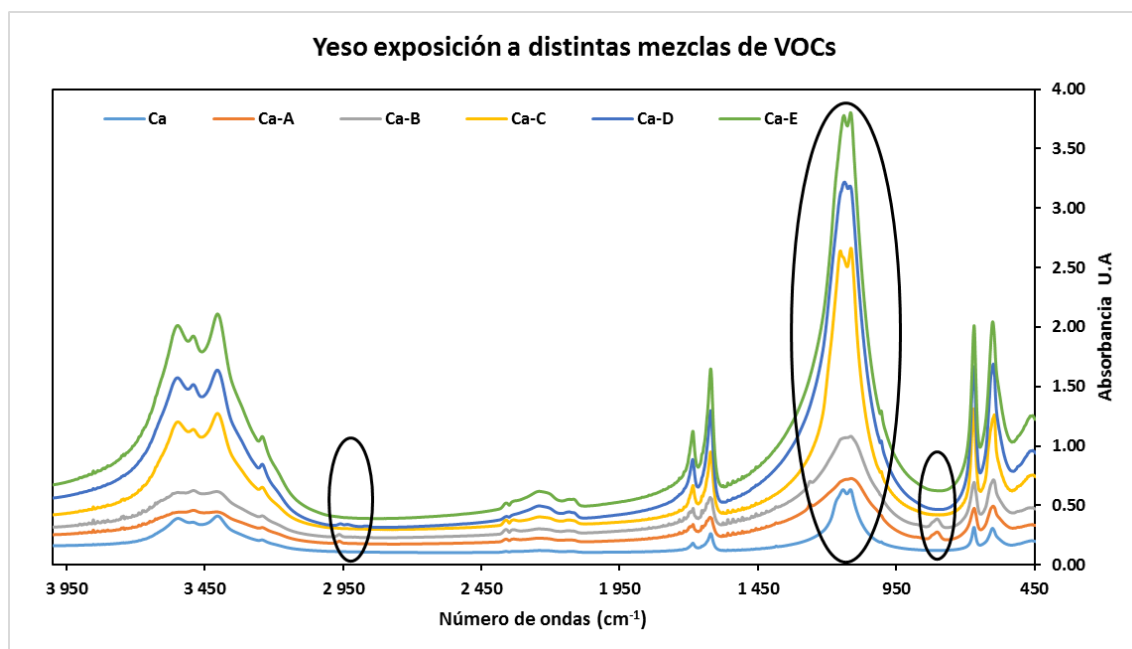


Figura 4.59: Espectros de FTIR transmisión del yeso sin exposición y expuesta a las distintas mezclas.

La figura 4.60 muestra como las muestras con ácido acético han generado bandas vibracionales nuevas a aproximadamente 1.500, 970 y 610  $\text{cm}^{-1}$ . Estas fases se han asignado a la posible formación de fosgenita, como también se ha observado en los experimentos de exposición a VOCs individuales. Al igual que en los casos anteriores se han observado el doblete de Fermi para las mezclas con aldehído y la banda vibracional del Si-O a unos 1.250  $\text{cm}^{-1}$  para las mezclas con siloxano.

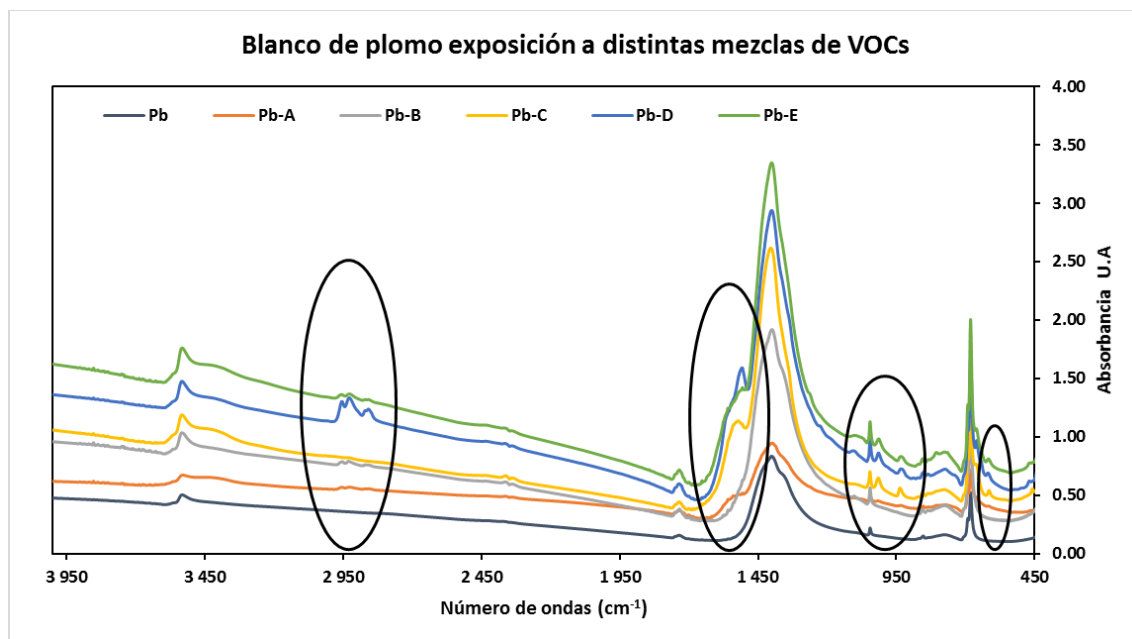


Figura 4.60: Espectros de FTIR transmisión del blanco de plomo sin exposición y expuesta a las distintas mezclas.

Los resultados de DRX que se han realizado a estas muestras no han mostrado nuevas fases respecto a las que se han obtenido en los experimentos previos de exposición individual a VOCs, debido a ello no se han incluido sus difractogramas en este trabajo. Tras estos resultados se ha observado que no se han dado efectos sinérgicos entre los contaminantes que han conformado las mezclas.

Estos han sido tan solo una fase introductoria a los primeros experimentos de exposición. Al haberse observado alteración mediante la interacción entre los pigmentos en polvo y los contaminantes en fase líquida el siguiente paso sería el estudio de la posible interacción pigmento / aglutinante con el contaminante en fase gas. Sin embargo, el tiempo resulta limitante y estos ensayos se llevarán a cabo en proyectos futuros empleando como base estos primeros ensayos de aproximación.

#### 4.10.4. Resultados de la exposición a una silicona neutra

Respecto a los adhesivos de silicona empleados en construcción existen varios tipos de mecanismos para la vulcanización a temperatura ambiente. Normalmente se describen en términos de la pequeña cantidad del producto químico producido durante la reacción con la humedad atmosférica que permite que se produzcan los mecanismos de enlace, lo que conduce a la formación de un caucho de silicona relativamente duro y elástico. Dentro de las siliconas cuya vulcanización se produce a temperatura ambiente encontramos los siguientes tipos, tabla 4.11.

**Tabla 4.11: Siliconas por métodos de curado con vulcanización a temperatura ambiente.**

Mecanismo	Producto	Efecto
Acetoxi	Ácido Acético	Corrosiva
Oxima	Ketoxima	Corrosiva Media
Alcoxi	Metanol	No Corrosiva
Acetona	Acetona	No Corrosiva

En las siliconas con mecanismo de oxima el subproducto de la cura se denomina 2-butanona o metiletilcetoxima. Esta familia de selladores de silicona exhibe muchas características atractivas, tales como una excelente adhesión sin imprimación a muchos sustratos, menor corrosividad y un olor relativamente no penetrante durante el curado (el olor se describe como dulcemente amoniacal). Sin embargo, hay indicios de que la 2-butanona-oxima puede ser un sensibilizador de la piel. Esto no es un problema en las plantas de ensamblaje donde se emplea una ventilación adecuada y una buena higiene industrial. Los sellantes de tipo oxima tienen sus limitaciones en aplicaciones electrónicas / eléctricas porque pueden reaccionar con el cobre y algunas aleaciones de cobre. Sin embargo, esta es una familia muy importante y útil de selladores cuya vulcanización se produce a temperatura ambiente. La operación a altas temperaturas de los sellantes oxima está limitada a alrededor de 200 °C, con solo unos pocos grados especiales operables a 240 °C (<http://www.chenso.com>).

Durante la remodelación del Museo Arqueológico Nacional se emplearon siliconas cuyo mecanismo produce oxima, por ello, se llevaron a cabo los experimentos de exposición de pigmentos de origen egipcio al ambiente propio generado por dicha silicona.



Para ello se ha trabajado con los pigmentos y aglutinantes de la tabla 4.7 preparando modelos pictóricos tal y como se ha descrito en el apartado 4.9 de este capítulo. Dichos modelos se han introducido en placas de Petri y se han expuesto al sellante de tipo oxima como se observa en la figura 4.61. Posteriormente las placas se han sellado y se ha prolongado la exposición durante 2 semanas y finalmente durante 2 años.

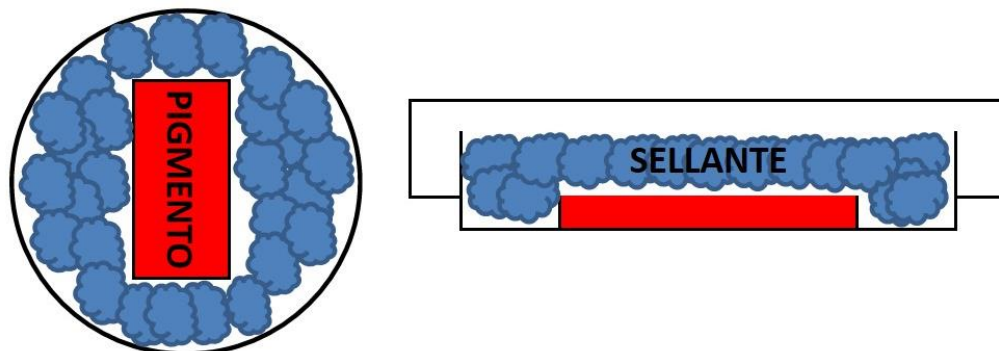


Figura 4.61: Esquema del sistema de experimentación para los ensayos con silicona neutra.

### Mezcla de pigmento con aglutinante vegetal (goma Arábica)

Durante la etapa de preparación de los modelos se ha observado como la hematita, el cinabrio y el blanco de plomo han sido los pigmentos que mejor mezcla han formado, resultando una pintura de buena consistencia, homogénea, y con un alto poder cubriente. El yeso con la goma arábica ha dado lugar a una mezcla gomosa y de mayor espesor que al igual que en los casos anteriores ha mostrado un alto poder cubriente. Sin embargo, la malaquita no se ha disuelto en la goma arábica quedando una mezcla acuosa y pulverulenta que al secarse se agrieta con facilidad.

Una vez se han montado las placas de Petri con los modelos, tras dos días de exposición se ha observado que todos los modelos han comenzado a agrietarse y a perder adhesión con el sustrato (figura 4.62), que en este caso han sido placas de vidrio.



Figura 4.62: Modelos agrietados y desadheridos tras dos días de exposición.

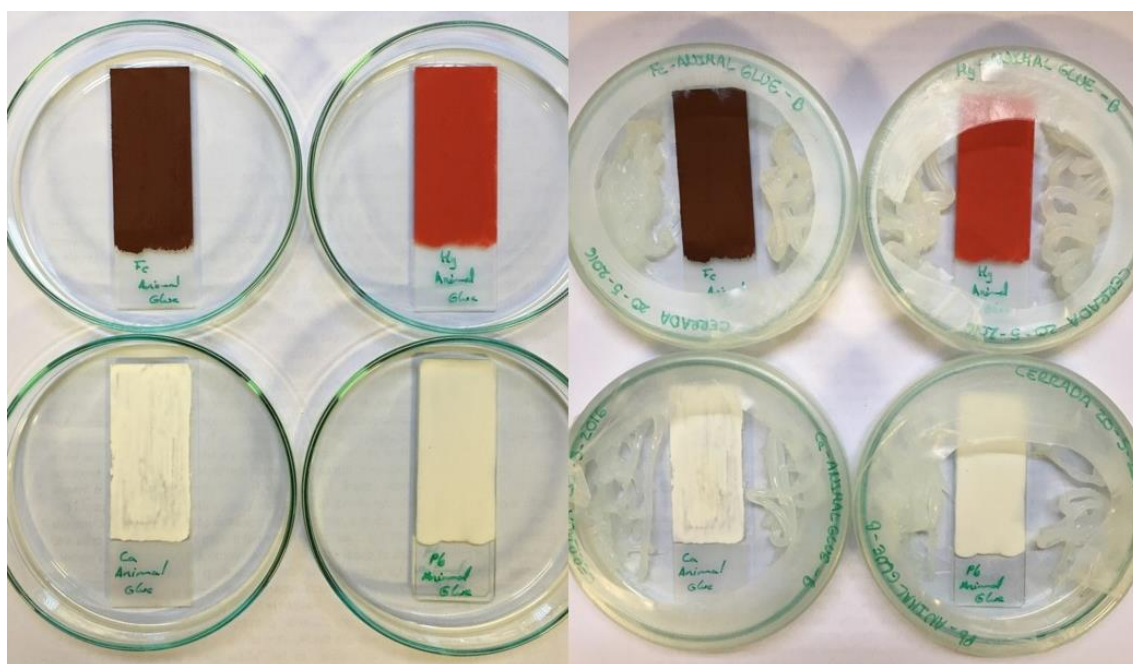
Para llevar a cabo su proceso de curación la silicona emplea la humedad presente en el ambiente. En el caso de los experimentos con aglutinante de origen vegetal la deshidratación que sufre el ambiente (interior de la placa Petri) es muy agresiva, lo que provoca la pérdida de adhesión de las muestras sobre el sustrato y su agrietamiento. Esto imposibilita la caracterización de dichas muestras.



### **Mezcla de pigmento con aglutinante animal (cola animal)**

Al igual que con el aglutinante vegetal, durante la etapa de preparación de los modelos se ha observado como la hematita, el cinabrio y el blanco de plomo han sido los pigmentos que mejor mezcla han formado, resultando una pintura de buena consistencia, homogénea, y con un alto poder cubriente. El yeso con la cola animal ha dado lugar a una mezcla más acuosa con peor poder cubriente. Finalmente, la malaquita, al igual que con la goma arábiga, tampoco se ha disuelto en la cola animal quedando una mezcla acuosa y pulverulenta que al secarse se agrieta con facilidad.

Una vez se han montado las placas de Petri con los modelos (figura 4.63), en el caso de la cola animal, tras dos días de exposición no se han observado alteraciones como agrietamientos o faltas de adhesión, como fue el caso de los modelos con goma arábiga, a excepción del modelo de malaquita. En este caso, debido a la falta de homogeneidad en la mezcla, no se ha conseguido un modelo estable para su estudio.



**Figura 4.63: Modelos con cola animal estables tras dos semanas de exposición.**

Una vez han transcurrido las dos semanas de exposición, las placas se han abierto y se ha llevado a cabo su caracterización. En primer lugar, se han realizado medidas colorimétricas para determinar si se han producido cambios en el color de los modelos, para lo que se ha empleado un colorímetro Konica Minolta CR-400. El color es una cuestión de percepción y de interpretación subjetiva. Incluso si varias personas observan un mismo objeto, obtendrán referencias y experiencias distintas y expresarán absolutamente el mismo color con palabras completamente diferentes. La gran variedad de formas para expresar un color hace que la descripción de un color concreto resulte difícil y vaga (<http://sensing.konicaminolta.com.mx>).

Existen una gran variedad de condiciones que afectan al aspecto del color: diferencias en la fuente de luz, en el fondo, en la dirección de observación, en el tamaño, en la sensibilidad del observador, etc. Para ello creando escalas en el tono, la claridad y la saturación se puede medir el color numéricamente (Pérez-Rodríguez, 2013). Mediante la utilización de un colorímetro (figura 4.64) se pueden obtener resultados instantáneos de cada especie de color.

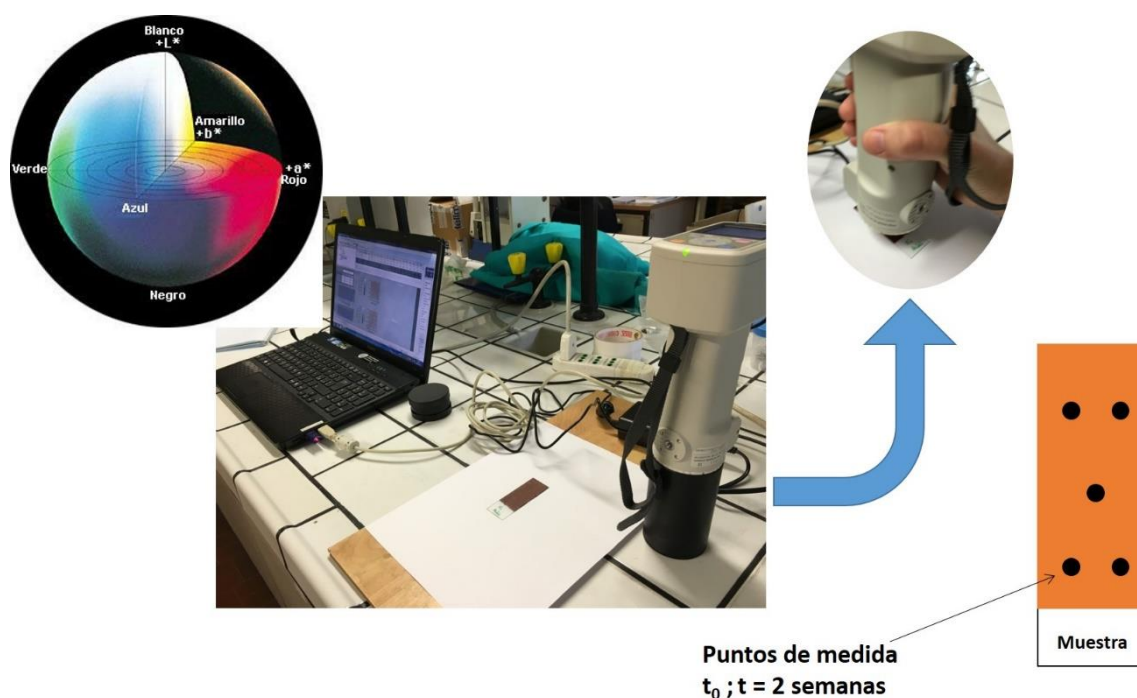


Figura 4.64: Medidas colorimétricas de los modelos pictóricos.

La diferencia de color ( $\Delta E$ ) se ha definido por medio de la Ec. 4.6.

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta b^2 + \Delta a^2)^{1/2} \quad \text{Ec. 4.6}$$

Donde  $\Delta E$ , es la diferencia de color;  $\Delta L$ , es la diferencia de luminosidad; y  $\Delta b$  e  $\Delta a$ , son las diferencias en las coordenadas cromáticas dentro del espacio de color. En este caso trabajamos con el espacio de color denominado CIELAB, que es actualmente uno de los espacios más populares para medir el color de los objetos y se utiliza ampliamente en casi todos los campos. La esfera que se observa en la esquina superior izquierda de la figura 4.64 define el espacio de color CIELAB.

Los resultados que se han obtenido de las medidas colorimétricas se exponen en la tabla 4.12.

Tabla 4.12: Resultados obtenidos mediante medidas colorimétricas.

Muestra	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
Fe	-6.28	3.92	4.58	8.71
Hg	0.10	0.68	0.22	1.23
Ca	0.18	0.07	0.16	0.24
Pb	0.38	-0.04	0.18	0.43

Un  $\Delta E$  de 5 unidades es un cambio de color perceptible al ojo humano. Se observa que tan solo la muestra de hematita ha perdido brillo. Esto se ha confirmado mediante microscopia óptica (figura 4.65) donde al comparar la superficie de la hematita tras la exposición al sellante de oxima se observa una zona opaca que disminuye el brillo de la muestra.

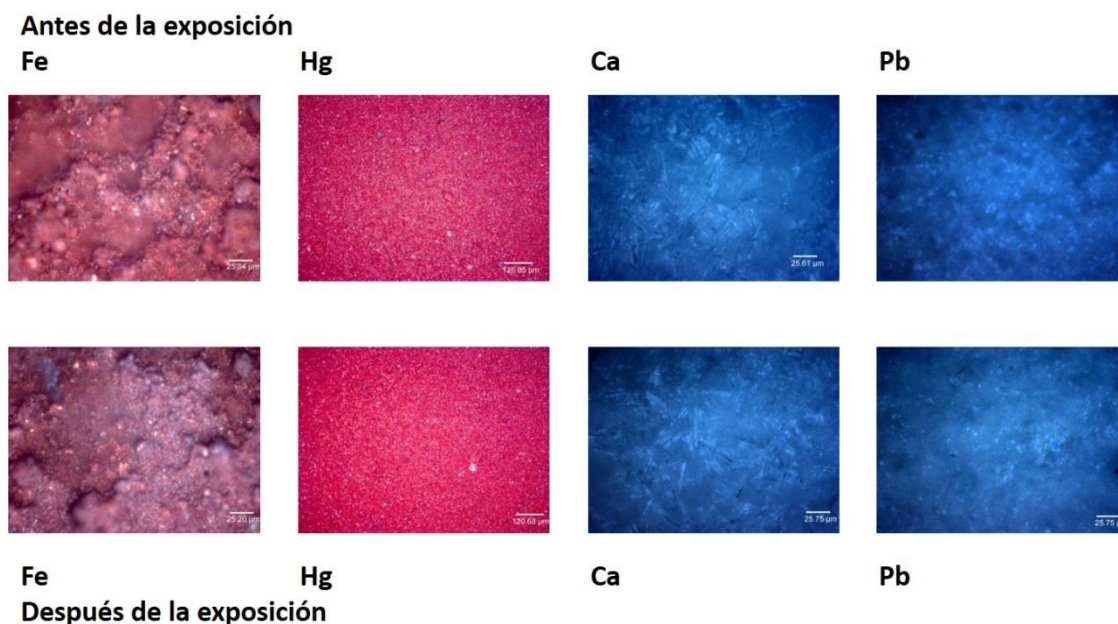


Figura 4.65: Imágenes superficiales de los modelos pictóricos por microscopia óptica.

En la figura 4.66 se observa la disminución de las bandas vibracionales a  $475$  y  $554\text{ cm}^{-1}$  que corresponden con las frecuencias de vibración del Fe-O y el aumento de la banda de vibración encontrada a  $1.087\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a la vibración Si-O (Bikiaris *et al.*, 1999).

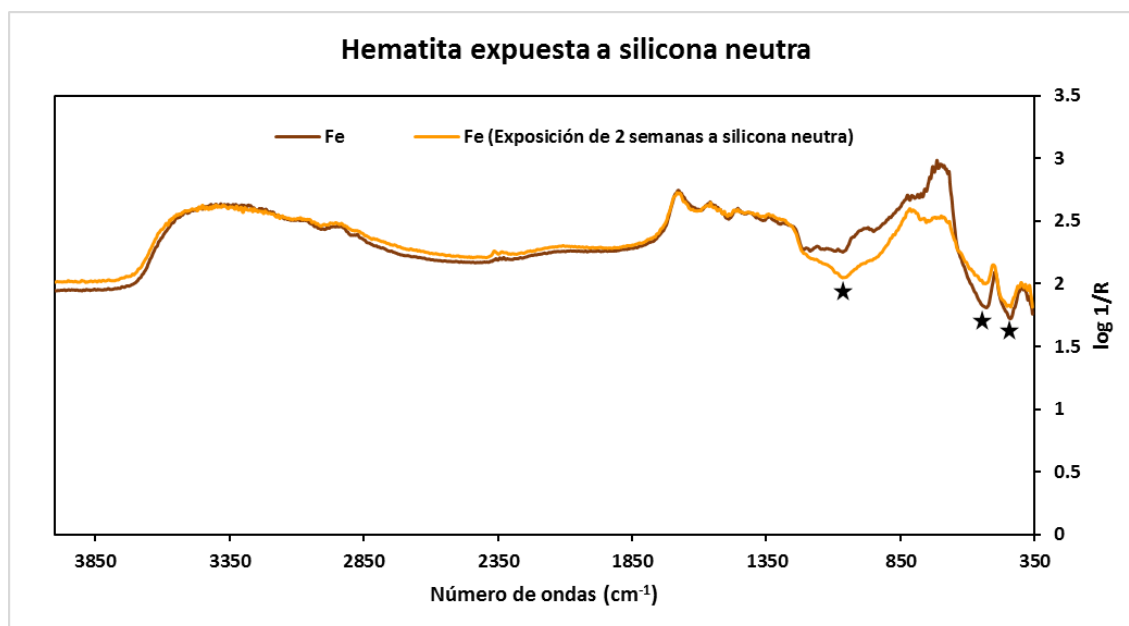


Figura 4.66: Espectros de FTIR reflexión de la Hematita sin exposición y expuesta durante 2 semanas a una silicona neutra comercial.

Tras estos resultados, los modelos pictóricos se volvieron a precintar con nueva silicona neutra y se ha prolongado su exposición durante dos años. Debido a este amplio intervalo de tiempo, los análisis finales de estas muestras se realizaron en el CIEMAT, los resultados más relevantes se exponen a continuación. La figura 4.67 muestra dos nuevas bandas de vibración en la muestra expuesta durante dos años a ambiente de curado que se ha generado durante el sellado de la silicona neutra. Estas bandas se encuentran a  $812$  y  $1260\text{ cm}^{-1}$  y se han asignado con la tensión simétrica del Si-OH y la banda de vibración del Si-O respectivamente.

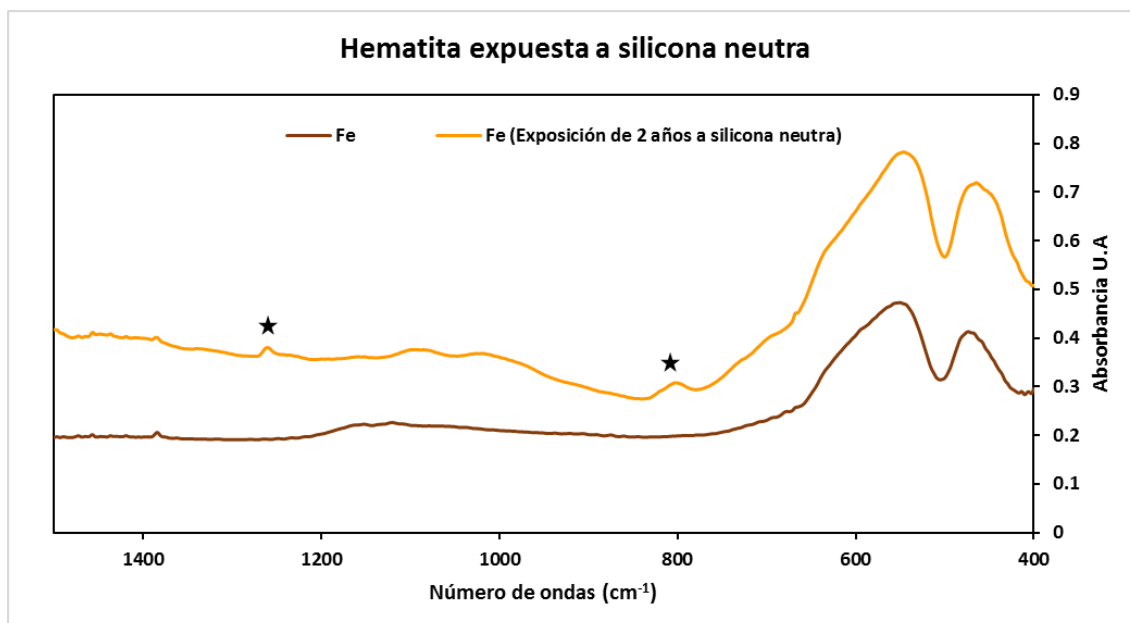


Figura 4.67: Espectros de FTIR transmisión de la Hematita sin exposición y expuesta durante 2 años a una silicona neutra comercial.

El análisis por XRD no muestra cambios significativos en el difractograma. Sin embargo, por XRF se han observado cambios en el porcentaje de los elementos que componen la muestra (tabla 4.13).

Tabla 4.13: Resultados de XRF para las muestras de Hematita sin exposición y tras larga exposición.

Elemento	Hematita sin exposición/Concentración (%)	Hematita 2 años de exposición/Concentración (%)
Fe	65	59
Al	1,3	1,2
Si	1,1	1,4
Ca	0,22	0,34
Mn	0,29	0,29

Los porcentajes de hierro y aluminio han disminuido, mientras que los de silicio y calcio han aumentado.

Todo parece indicar que la oxima no ha alterado los pigmentos, sin embargo, los siloxanos presentes en la silicona se han depositado sobre la superficie del material generando una capa que ha disminuido su brillo. Por otro lado, la humedad necesaria en el ambiente para llevar a cabo el proceso de sellado de la silicona es un factor a tener en cuenta ya que en el caso del aglutinante vegetal la pérdida de adherencia fue muy notable y la integridad estructural de la capa pictórica se vio comprometida. Estudios futuros de caracterización con otras técnicas podrían aclarar mejor lo que pasa con el óxido de hierro tras la exposición a la silicona neutra.

## CAPÍTULO 5: VITRINAS Y SISTEMAS DE CONTROL DE VOCs

En este capítulo se evalúan algunas muestras del conjunto de vitrinas de exposición existentes en el MAN. La mayoría son de nueva adquisición, herméticas. El museo las adquirió para cubrir la demanda de nuevas vitrinas necesarias para la reestructuración que su remodelación reclamaba. Tras su montaje, los conservadores del museo advirtieron olores desagradables en su interior. Estos les causaban picor de ojos, dolor de cabeza y malestar general que obligaron a la dirección del museo a buscar soluciones antes de su apertura en 2014. Tras diferentes ensayos de venteo e incremento del tiempo de curado indicado por el fabricante, la empresa concesionaria solicitó la realización de una serie de análisis al grupo FOTOAIR del CIEMAT. Mediante ellos, se identificaron los materiales emisores de los compuestos mayoritarios y realizó su cambio por otros de menor emisión. Algunas vitrinas fueron dotadas de conexiones y llaves de corte que permitieran la renovación del aire interior en ciclo cerrado desde el exterior y a dos de ellas, las que albergarían a Nespamedu y la momia femenina (las dos momias egipcias expuesta), se les incorporó un sistema de recirculación de aire que permitiera autónomamente su filtrado mediante carbón activado conformado como monolito.

La dirección del MAN y el grupo FOTOAIR del CIEMAT decidieron continuar la colaboración iniciada mediante el apoyo a un proyecto conjunto que permitiera evaluar en el tiempo la evolución de los contaminantes del aire interior de las vitrinas y del conjunto del museo - objeto fundamental de esta tesis-. Para ello, se presentó y obtuvo la aprobación de un proyecto a la convocatoria RETOS colaboración denominado AIRARTE (Ref RTC-2015-4269-6) con el objetivo de identificar los contaminantes químicos y biológicos del interior de las vitrinas, aire interior del museo y su comparación con el exterior del museo y proponer un sistema de tratamiento entre tres posibles: filtración, polarización activa y fotocatalisis. Este proyecto finaliza en este año. Es por ello, que en esta tesis se presentan los resultados de caracterización química y filtrado inicial de las vitrinas de Egipto con materia orgánica con mayor susceptibilidad al daño por contaminación.





### 5.1. Clasificación de las distintas vitrinas del MAN:

La remodelación del museo arqueológico no solo ha traído la redistribución de salas y la reestructuración del discurso museográfico, sino que también ha supuesto la renovación de muchas de sus vitrinas.

En este apartado se han evaluado los distintos tipos de vitrinas que se pueden encontrar en el MAN. En primer lugar, se ha llevado a cabo la clasificación de las diferentes vitrinas, como muestra la tabla 5.1.






Tabla 5.1: Clasificación de las distintas vitrinas presentes en el MAN.

Vitrina	Origen	Hermeticidad	Foto
Tótem	Alemana	Sí	
Corredera	Alemana	Sí	
Abatible	Alemana	Sí	
Abatible	Española	No	

Para este estudio se han seleccionado una serie de vitrinas en función de los sistemas de tratamiento de la contaminación que en ellas se han integrado (tabla 5.2).

Tabla 5.2: Clasificación de las vitrinas estudiadas en el MAN.

Hermeticidad	Sistema de tratamiento de VOCs	Origen	Foto	Nombre/Numero
Sí	No	MUSEUMSTECHNIK GmbH Berlín (Alemana)		Cruces (27.14)
No	No	Española		Reyes Católicos (28.1)
Sí	Orificios (sin filtración)	MUSEUMSTECHNIK GmbH Berlín (Alemana)		Vasijas (10.9)

Sí	Filtración externa	MUSEUMSTECHNIK GmbH Berlín (Alemana)		Estela (35.12)
Sí	Filtración interna	MUSEUMSTECHNIK GmbH Berlín (Alemana)		Nespamedu (35.4)
Sí	Nueva filtración interna	Aire Limpio (Española)		Momia Guanche (No numerada)

La figura 5.1 muestra los puntos de muestreo (vitrinas) seleccionados para este estudio. En la segunda planta del MAN se ha analizado el aire interior de las vitrinas de Cruces y Reyes Católicos de la sala de Medieval y Moderna respectivamente. La vitrina de Cruces es una vitrina hermética alemana sin sistema de tratamiento para el control de la contaminación. Mientras que, la vitrina de Reyes Católicos es una vitrina no hermética española sin sistema de tratamiento para el control de la contaminación.

En la primera planta del MAN se encuentra la vitrina de Vasijas que se ha analizado para este estudio. Se trata de una vitrina hermética alemana sin sistema de control de la contaminación a la cual se le han realizado unos orificios en la zona baja de su pedestal para reducir la hermeticidad y favorecer un pequeño intercambio de aire, como se observa en la figura correspondiente de la tabla 5.2.

Por último, en la segunda planta se han seleccionado las vitrinas de la sala de Egipto denominadas Estela y Nespamedu. Ambas son vitrinas alemanas herméticas con sistemas de control para la contaminación exterior e interior respectivamente. Y se han comparado con la vitrina de nueva generación situada en la sala Canarias que alberga a la momia Guanche. Esta vitrina es hermética y contiene un sistema de tratamiento de la contaminación diseñado por la empresa Aire Limpio. Los sistemas de tratamiento para el control de la contaminación en el interior de las vitrinas del MAN se describen más adelante en este capítulo.





Figura 5.1: Localización en el plano del MAN {modificado a partir del que figura en su web: <http://www.man.es/man/visita/plano-exposicion.html>} de las vitrinas que se han analizado para este estudio.

## 5.2. Sistemas de tratamiento de la contaminación interior de las vitrinas en uso en el MAN

### 5.2.1. Vitrinas herméticas con sistema de tratamiento para el control de la contaminación por filtración con carbón activado

El MAN cuenta con una serie de vitrinas modificadas para albergar sistemas de control de la contaminación interior. Estas vitrinas se encuentran en la sala de Egipto y Nubia. Los sistemas de tratamiento son: externo e interno. Ambos sistemas están basados en filtración por carbón activado.

#### Externo

Utilizado sobre vitrinas herméticas alemanas a las que se les ha dotado de dos llaves de cierre que permiten el intercambio del aire interior al conectarlas a un sistema externo de filtración portable que intercambia aire filtrado desde el exterior removiendo completamente el aire interior. Como se observa en la figura 5.2, este sistema consta de una caja de acero inoxidable de dimensiones: 1100 mm × 400 mm × 400 mm y 39 kg de peso en cuyo interior se encuentra una turbina centrífuga con motor EC (regulable de 0 - 10 V) y un sistema de filtración (EN779/2012) con un prefiltro de clasificación F9, un filtro de gases de carbón activado granular y permanganato potásico y un filtro de partículas absoluto HEPA H14 99.999 % de 3 micras (Sánchez *et al.*, 2015). Este sistema activado a voluntad, permite la remoción completa del aire interior y su intercambio por un nuevo volumen de aire ya filtrado.



Figura 5.2: Sistema de filtración externa para el control de los VOCs del aire interior de las vitrinas de MAN.

La figura 5.3 muestra la caracterización de una vitrina antes y después de aplicar el sistema de filtración de carbón activado portable. Como se puede observar en la masa de los compuestos determinados, inicialmente se encuentran altos valores que decrecen rápidamente tras aplicar el sistema de filtración externo. Los resultados indican que aplicar quincenalmente durante 20 minutos el sistema de filtración portable es una medida efectiva para reducir los niveles de

contaminación en el interior de las vitrinas. Los filtros de carbón activado adsorben los VOCs, lo que permite la introducción de aire limpio en el interior de la vitrina.

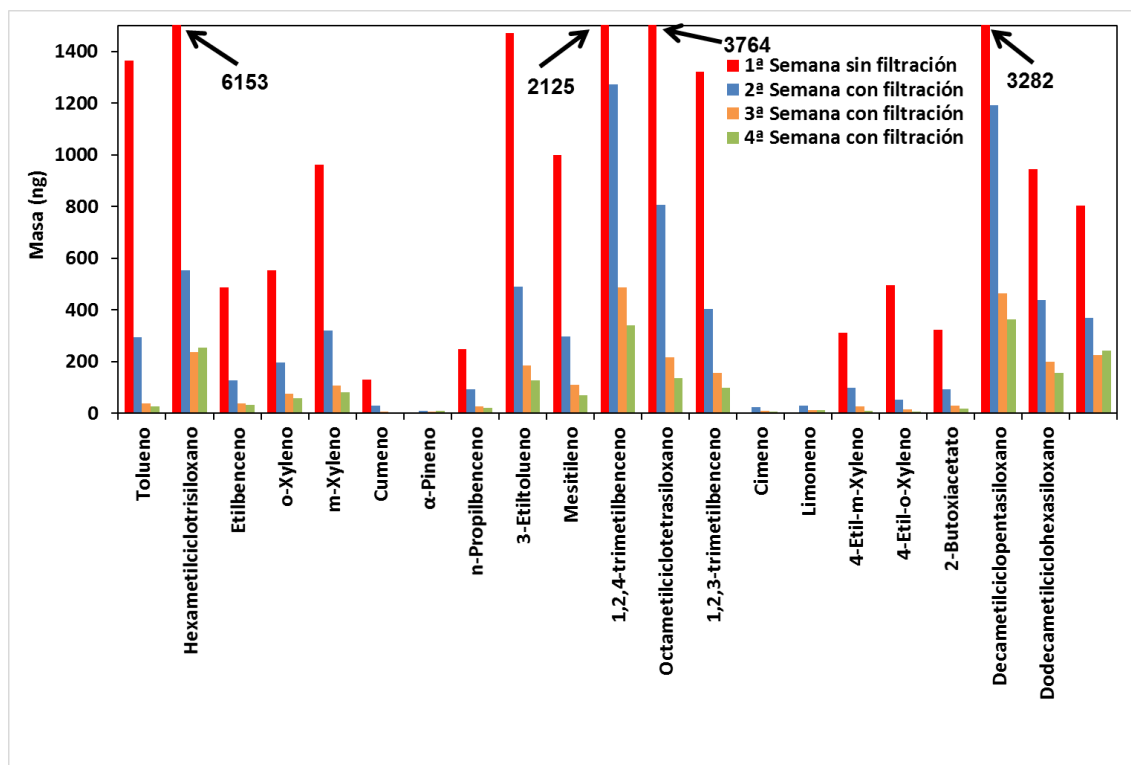


Figura 5.3: Cuantificaciones (ng) del aire interior de una vitrina tras aplicar el sistema de filtración externo.

#### Interno

A dos de las vitrinas herméticas alemanas, la empresa concesionaria, de acuerdo con la dirección del MAN decidió dotarlas de un sistema de recirculación y filtración individualizado, con funcionamiento en continuo. Como se observa en la figura 5.4 este sistema consta de una caja metálica de acero inoxidable en cuyo interior se integra un monolito de carbón activado, un mini-filtro de partículas y 4 mini-ventiladores incorporados en línea.

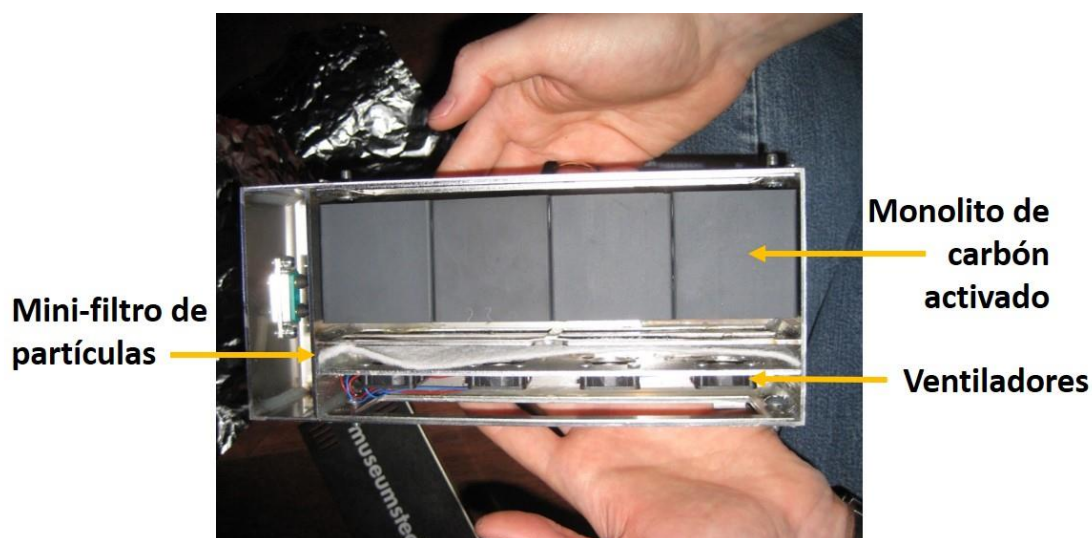


Figura 5.4: Sistema de filtración interno para el control de los VOCs del aire interior de las vitrinas de la sala Egipto y Nubia del MAN con momias en exposición.

En este caso podemos comprobar que el sistema de filtración incorporado en la vitrina, si bien reduce los VOCs presentes en la misma lo hace con una menor eficiencia si lo comparamos con el sistema de filtración portable. Esto es coherente con los datos de potencia de ambos sistemas. La miniaturización del sistema denominado interno, obliga a esperar una reducción de contaminantes más allá del tiempo deseable, tal y como se puede observar en las primeras dos semanas de la figura 5.5. Reducción que se acelera al sumar este sistema con el externo, según se observa en las dos semanas siguientes de la gráfica. Ambos sistemas se complementan. El sistema interno permite por su reducido volumen, su enmascaramiento bajo vitrina, trabajar las 24 h del día y no precisar intervención humana salvo para su mantenimiento. El sistema externo permite la limpieza rápida y su aplicación en el momento que se precise. Por el contrario, exige la intervención humana y trabajar en días de no apertura al público.

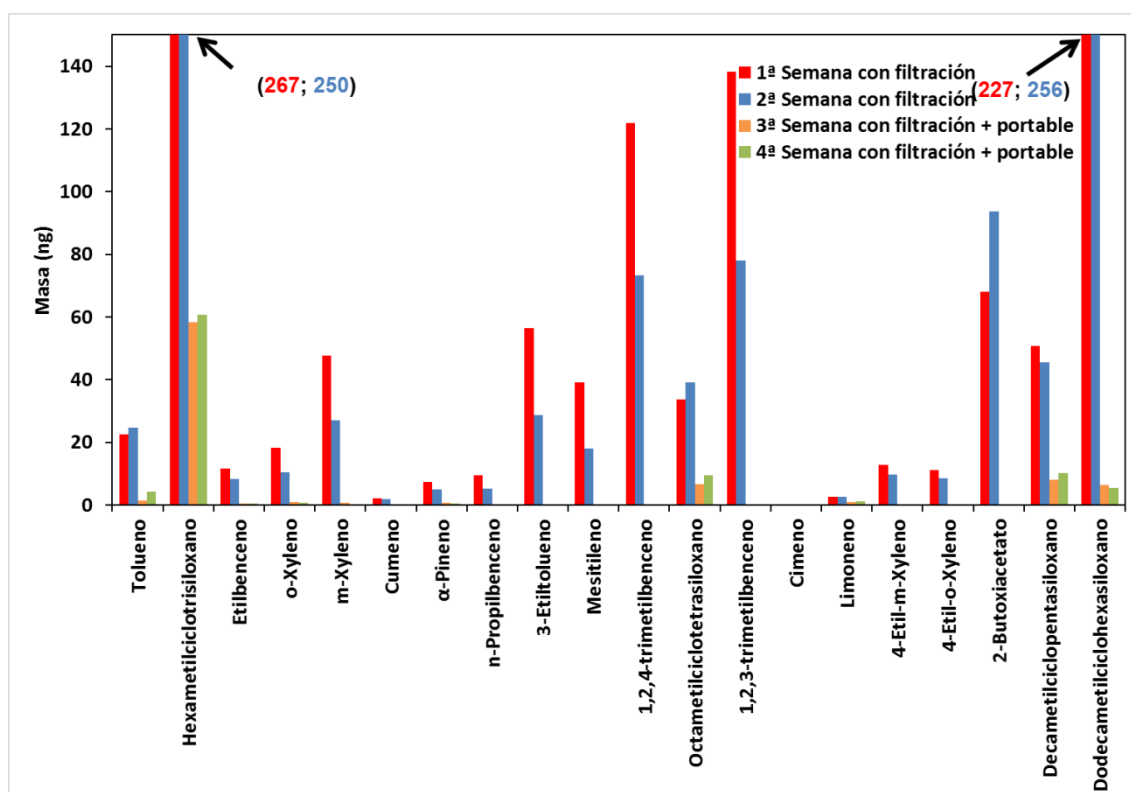


Figura 5.5: Cuantificaciones (ng) del aire interior de una vitrina tras aplicar el sistema de filtración interno y posteriormente acoplar a la vez el externo.

Podemos concluir que ambos sistemas de filtración son eficaces para mantener los niveles de VOCs en valores bajos y así evitar que una alta concentración deteriore las piezas. A corto plazo (años) el sistema exterior resulta necesario hasta estabilizar en niveles bajos, las concentraciones internas de las vitrinas herméticas. A partir de los primeros cuatro años, el sistema interno podría mantener los niveles realmente bajos en el tiempo. Para convertir esta afirmación en presente, serían necesarios nuevas campañas de medida.

Un problema con el que actualmente nos encontramos es con el hecho de no conocer cuáles son las concentraciones de los diferentes VOCs que podemos considerar seguras para no alterar los diferentes materiales con los que están en contacto. La presencia continuada de niveles considerados bajos para la salud humana no garantiza que lo sean igualmente para el sin fin de materiales que configuran las obras de arte. En este sentido, los estudios aportados

en el capítulo 4 de esta tesis representan un simple paso más en el nuevo cuerpo de conocimiento que comienza a construirse en relación con las obras de arte.

### **5.2.2. Vitrina hermética de nueva generación con sistema de tratamiento para el control de la contaminación por filtración con carbón activado**

En las últimas décadas se ha venido consolidando una nueva disciplina en el terreno de la conservación y la restauración de bienes culturales: la conservación preventiva. En este sentido se ha trabajado notablemente con las condiciones ambientales, sobre todo en lo referente a temperatura, humedad relativa e iluminación (Camuffo *et al.*, 2001). Sin embargo, los trabajos relacionados con los contaminantes químicos en contacto con la obra son todavía muy escasos.

Con el proyecto AirArte en marcha, el traslado de la momia Guanche del Museo Nacional de Antropología (MNA) al MAN y los conocimientos sobre la problemática que las nuevas vitrinas herméticas estaban generando, la empresa Frade arquitectos, con el asesoramiento del MAN y del ICP (Instituto para la Conservación del Patrimonio), diseñó una nueva vitrina para reubicar la momia guanche (Vilanova *et al.*, 2016). La empresa Aire Limpio se encargó de la instalación del sistema filtrante.

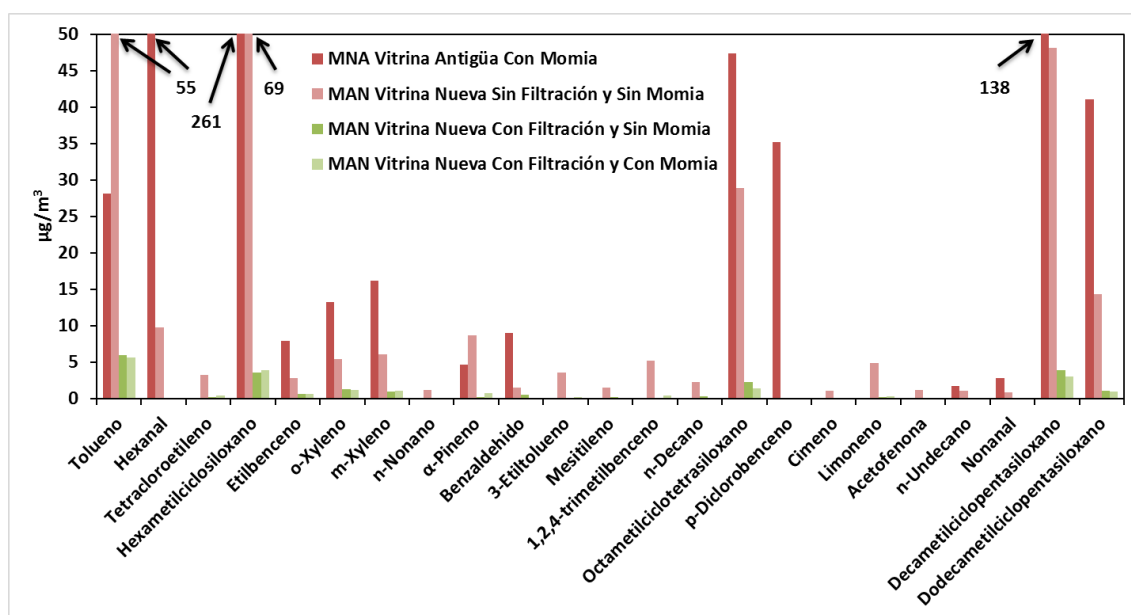
La vitrina estanca (figura. 5.6) se dotó de un sistema de doble filtración de carbón activado, que funciona en recirculación. Mantiene las velocidades de aire y renovaciones en valores de diseño (0,1 m/s, 2 ren/h). Este sistema ha sido implementado por la empresa Aire Limpio S.L. ([http://www.airelimpio.com/blog/proyecto\\_air\\_arte](http://www.airelimpio.com/blog/proyecto_air_arte)).





**Figura 5.6:** La nueva vitrina estanca del MAN con sistema de filtración integrado.

Con anterioridad a su traslado realizado el 7 de diciembre del 2015 se muestreo en la vitrina del MNA con objeto de determinar las condiciones en las que se encontraba y poder compararlas con las que tendría en su nuevo emplazamiento. En la figura 5.7 se muestra la evolución de las concentraciones de los VOCs más abundantes en el ambiente interior de la antigua vitrina del MNA en comparación con los existentes en la nueva vitrina antes del traslado, después de conectar el nuevo sistema de filtración y una vez introducida la momia manteniendo el nuevo sistema de filtración activo.



**Figura. 5.7: Determinación cuantitativa de los distintos VOCs identificados en el interior de las vitrinas del MNA y MAN con y sin filtración y con y sin momia en el MAN.**

Tras los diferentes análisis se ha observado que en el MNA la momia guanche se encontraba en un ambiente con altas concentraciones de siloxanos propios del ambiente y provenientes de pinturas, disolventes y productos de limpieza e higiene personal, además de *p*-diclorobenceno debidos a residuos propios de procedimientos de conservación del siglo XIX.

En la nueva vitrina del MAN inicialmente se han encontrado altos valores de siloxanos y tolueno. Sin embargo, al activar el sistema de filtración se ha observado cómo se ha producido la caída de la concentración de VOCs a valores menores de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e incluso a valores por debajo de los límites de detección del ATD-GC-MS.

Cuando se ha realizado la comparación de las concentraciones que se han obtenido en el interior de la vitrina con las de la sala en la que la momia se expone (ver figura. 5.8) se ha observado que, en el MNA, los valores de concentración en el interior de la vitrina han resultado más altos que en su exterior. Mientras que, en el MAN, con el sistema de filtración, los valores de concentración de VOCs del interior de la vitrina se han reducido drásticamente y han permanecido por debajo de los del exterior. Esto ha supuesto una mejora para la conservación de la obra al estar menos expuesta a compuestos ácidos y/u oxidantes que podrían alterar su integridad.

También se ha de destacar que el ambiente de la sala en el MAN ha presentado una menor concentración de VOCs al compararse con el ambiente del MNA (figura 5.8). En ambos casos, los valores se han identificado por debajo de los límites ambientales de exposición diarios para los visitantes (INSHT, 2016).



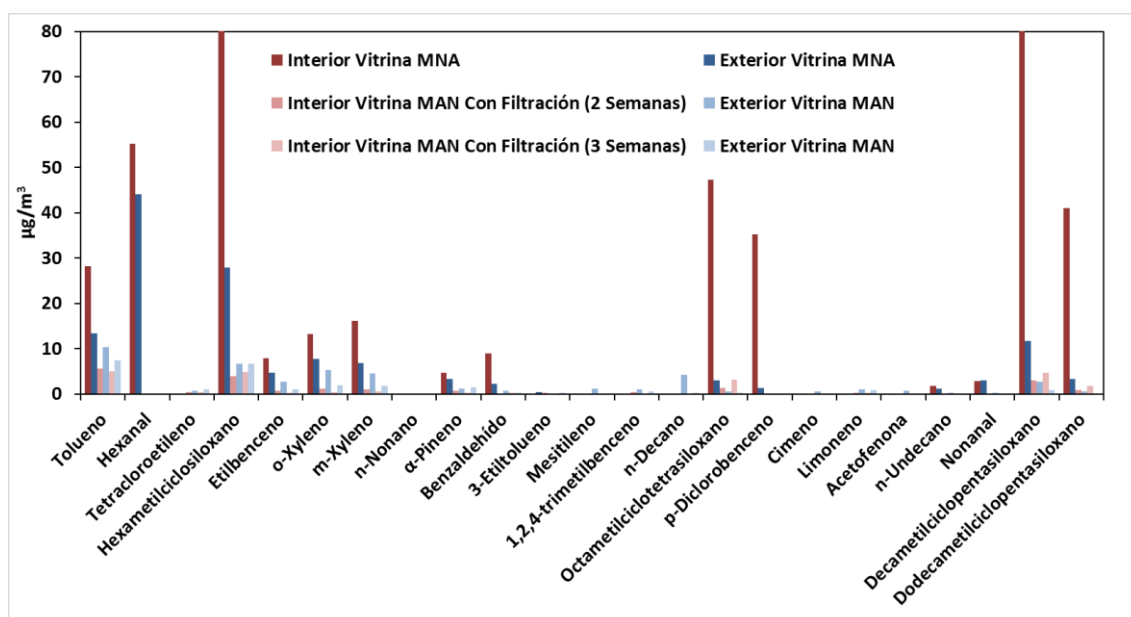
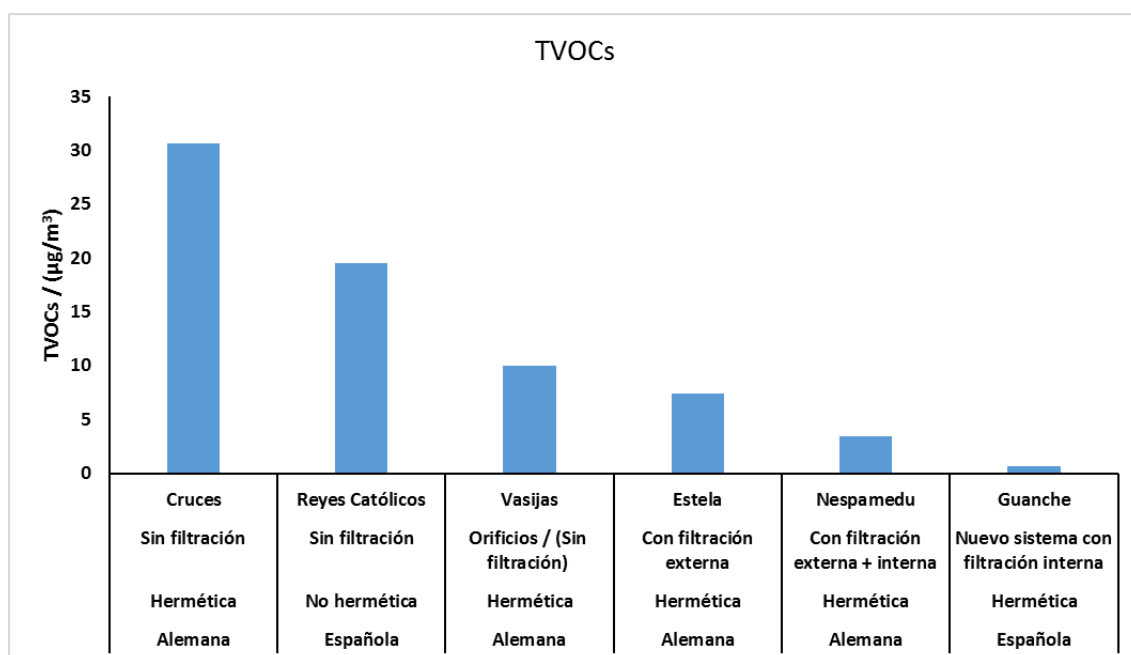


Figura. 5.8: Comparativa de las concentraciones de VOCs del interior y el exterior de la vitrina que ha alojado y aloja la momia guanche en ambos museos.

### 5.3. Resumen de la concentración de contaminantes en las distintas vitrinas estudiadas según hermeticidad y filtración

Una vez analizadas y cuantificadas las muestras de aire interior de las diferentes vitrinas, los resultados obtenidos se representan en la figura 5.9 en la que se muestra la suma de la concentración de todos los VOCs cuantificados (TVOCs) en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En la gráfica se han incluido también los resultados de la vitrina “Reyes Católicos” con objeto de comparar las concentraciones obtenidas en vitrina hermética sin filtración con no hermética igualmente sin filtración, hermética con orificios –practicados por la empresa instaladora a comienzos de 2014 al ver la problemática existente-, así como con vitrinas herméticas con diferentes sistemas de filtración interna. La vitrina “Reyes Católicos” es antigua y anterior a la remodelación del museo.



**Figura 5.9: TVOCs cuantificados en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en vitrinas de diferentes tipos y procedencias.**

Comparando los resultados de la vitrina “Cruces” con la vitrina “Reyes Católicos”, resulta patente un aumento en la concentración de VOCs al aumentar la hermeticidad de las vitrinas. Igualmente resulta significativo la reducción de contaminación al practicarle una serie de orificios a la inicialmente hermética –comparación vitrina “Cruces” con vitrina “Vasijas”. Observados los primeros resultados, se planteó incorporar un sistema de tratamiento de la contaminación, -incorporado o externo- entre otras a la vitrina “Nespamedu” y basado en filtración mediante carbón activado.

# CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Las nuevas tendencias de diseño en arquitectura energéticamente eficiente, los nuevos materiales funcionales diseñados para ello y el hecho de que cada vez las personas pasan más del 90 % de su tiempo en espacios cerrados, han puesto en el punto de mira la calidad del aire interior. La remodelación realizada en un edificio histórico público, incluyendo todas las salas y vitrinas que alberga el Museo Arqueológico Nacional (MAN), ha supuesto una oportunidad única de estudio sobre la calidad del aire de los diferentes microambientes que se pueden encontrar en un edificio de estas características.

Dentro de los contaminantes existentes en los distintos ambientes, se han seleccionado los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) por su abundancia, diversidad, posibilidad de daño o alteración de las obras y el bajo número de estudios realizados en este ámbito. Como se ha tratado en este manuscrito, para ello se han identificado y cuantificado los VOCs de los distintos ambientes: exterior de museo, interior de sala e interior de vitrina.

Actualmente estos contaminantes han empezado a posicionarse como los mayoritarios desbancando a los tradicionales, gracias a las políticas de control en materia medioambiental y a los nuevos materiales de construcción. Sus rangos de concentración y como afectan estos contaminantes tanto a los usuarios y trabajadores de los espacios de aire interior como al patrimonio artístico y cultural que en el caso del MAN se expone y preserva es todavía una cuestión con pocas respuestas.

Los resultados que se han obtenido y discutido en este trabajo de tesis en materia de caracterización de los distintos ambientes del MAN (exterior del museo, interior de sala e interior de vitrina), así como, el estudio de los distintos tipos de vitrinas, los diversos sistemas de control de la contaminación del interior de vitrina y los experimentos iniciales para la determinación de los efectos de estos contaminantes en las policromías egipcias, han servido para iniciar la senda hacia la resolución de las cuestiones propuestas en los objetivos de este manuscrito. Las principales conclusiones extraídas han sido las siguientes:

## **Metodología de análisis**

Tanto la cromatografía de gases como la cromatografía de líquidos han permitido llevar a cabo la identificación y cuantificación de los VOCs presentes en los distintos ambientes objeto de estudio.

El análisis mediante ATD-GC-MS ha resultado ser una técnica sensible y precisa para la determinación de VOCs en aire interior. Si bien, en este trabajo se ha empleado para la determinación de compuestos apolares, la diversidad de adsorbentes y columnas que ofrece el mercado permiten ampliar el espectro de determinación a compuestos de polaridades diversas.

La cromatografía de líquidos ha mostrado resultados satisfactorios para la determinación de los ácidos orgánicos y el formaldehído. Si bien, con este último se ha conseguido un límite de

detección de 0,5 ppm. Con objeto de disminuir dicho límite, se propone el empleo de controladores de flujo másico que permitan trabajar a menores caudales con menor error lo que permitiría mejorar los resultados.

### **Tipos de muestreos**

La alta correlación determinada entre los muestreos activos y pasivos ha permitido llevar a cabo una buena comparativa entre los resultados y diseñar la estrategia de muestreo más óptima en función de las limitaciones que en cada muestreo de campo se han podido sufrir. Como ejemplo: limitaciones de espacio o sensibilidad a las vibraciones, lo cual ha impedido en algunos casos, posicionar adecuadamente los muestreos activos. Este hecho ha obligado a una mayor diversidad a la hora de trabajar pero ha dado versatilidad al equipo, ha ampliado el número de resultados obtenidos, y ha permitido finalmente una caracterización de los distintos ambientes más completa.

### **Aire exterior**

Dentro de las cuatro familias objeto de estudio (BTX-aromáticos, aldehídos-terpenos, alifáticos-alcoholes y siloxanos y otros), en este trabajo se ha observado que la principal influencia en la contaminación exterior ha correspondido al tráfico rodado. Es por ello que los compuestos de la familia de BTX-aromáticos hayan sido los VOCs mayoritarios. El resto de los VOCs pertenecientes a las otras familias han influido en el aire exterior en menor medida y sus fuentes se han debido a seres vivos (tanto del reino animal como del vegetal) mayoritariamente.

La diferencia de alturas a la hora de tomar las muestras ha mostrado como en la familia de los alifáticos se ha observado mayor dispersión o reactividad con las capas altas de la atmosfera, lo que ha derivado en concentraciones más bajas respecto al resto de familias.

### **Aire interior**

Se han observado mayores concentraciones en el interior del museo que en el exterior. Al intercambio entre ambos espacios se le han sumado al aire interior las fuentes de emisión interiores como son los materiales de construcción, limpieza y disolventes frente a la contaminación exterior influenciada por los episodios de alta contaminación por tráfico rodado que han tenido lugar durante 2015 y 2016. El ajuste de los sistemas de acondicionamiento de aire y el reequilibrio a la baja de las emisiones de los diferentes materiales utilizados en la construcción, decoración y menos en la limpieza, están propiciando la reducción del conjunto de las emisiones de interior .

Dentro de las salas estudiadas, aquellas que conservan los restos momificados y por consiguiente han sido las salas con mayor afluencia de visitantes, han resultado ser las que han presentado mayores niveles de VOCs lo cual ha dejado patente la influencia de los propios visitantes como una de las principales fuentes de contaminación interior.

### **Aire interior de vitrina**

En este caso los resultados han mostrado como los VOCs determinados de forma mayoritaria en este ambiente tienen su origen en los materiales de construcción de las vitrinas, los tratamientos de conservación preventiva -como ha sido el caso de la presencia de anti-fúngicos que se han empleado para evitar plagas biológicas que pudiesen degradar las obras, principalmente aquellas de naturaleza orgánica-, he incluso las propias obras.

Dentro de los diversos tipos de vitrinas que contiene la exposición permanente del MAN cabe destacar como las concentraciones de VOCs han aumentado al aumentar la hermeticidad de las vitrinas, debido a la limitación de los intercambios de aire hasta hacerlos prácticamente nulos. Esto ha generado un alto confinamiento en el ambiente del aire interior de las vitrinas lo cual se ha traducido en una alta acumulación de VOCs que podría generar la alteración o degradación de las obras contenidas en dicho ambiente.

### **Sistemas de control de VOCs**

Los sistemas de tratamiento para el control de la contaminación se han hecho necesarios, ya que la elevada hermeticidad de las vitrinas favorece la acumulación de VOCs. Han sido necesarios sistemas de control de la contaminación forzados para llevar a cabo su movilización. Los sistemas que actúan por difusión como es el caso de las vitrinas con orificios para la disminución de la hermeticidad han resultado insuficientes para controlar los niveles de concentración de VOCs.

Los sistemas de filtración por carbón activado han resultado ser una forma efectiva para mantener los niveles de concentración de VOCs por debajo de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  o en algunos casos por debajo de límite de detección de los propios métodos de análisis que se han empleado. Han sido por tanto la alternativa óptima para el control de las concentraciones de VOCs en el interior de las vitrinas, sin embargo, estos sistemas no permiten la mineralización de los VOCs, generan residuos, necesidad de fungibles y mantenimiento. Es por ello que se estudia la implementación dentro del proyecto AIRARTE de un reactor que combina la adsorción con carbón activado, la polarización activa y la fotocatalisis (sistemas no descritos en esta tesis).

### **Ensayos de estabilidad de las policromías egipcias**

Mediante la colaboración con el MOLAB se ha empleado un amplio abanico de técnicas espectroscópicas no destructivas y destructivas con las que se ha confirmado el origen de los pigmentos empleados por los egipcios en cinco piezas originales del MAN.

Las técnicas no destructivas han confirmado el uso en esta época de pigmentos tierra para los rojos, morados, amarillos y naranjas; junto con el azul y verde egipcio, los primeros pigmentos sintetizados por el ser humano, y los negros de origen orgánico, ya sea vegetal o de huesos.

Además, se ha confirmado la hipótesis que suponía la reutilización de los ataúdes por parte de los propios egipcios, al confirmarse la continuidad en los pigmentos, tras analizarse los pigmentos empleados para la sustitución del nombre del difunto en los ataúdes objeto de estudio.

Asimismo, se ha identificado la presencia de tratamientos de restauración realizados previamente, mediante la identificación de pigmentos de épocas más modernas y la ausencia de materiales originales. También se ha mostrado la posible presencia de tratamientos de conservación preventiva previos para el tratamiento de plagas.

Los ensayos de modelos pictóricos que se han realizado para el estudio de la estabilidad de estos materiales frente a los VOCs mayoritarios presentes en el interior de las vitrinas han mostrado que los compuestos ácidos y los aldehídos alteran la estructura de pigmentos de la familia de los carbonatos y sulfatos, mientras que los pigmentos como el óxido de hierro y el sulfuro de mercurio han sido estables frente a dichos VOCs.

Se ha observado que los siloxanos se depositan sobre los pigmentos. Sin embargo, no se ha producido una interacción que altere su estructura; si bien parece que el depósito que se forma es transparente. En este caso los estudios de larga exposición sobre pigmentos a una silicona neutra han demostrado que, tras dos años de exposición, dicho depósito permanece sobre la superficie del pigmento generando una pérdida de brillo.

En los ensayos de mezcla de VOCs no se han mostrado efectos sinérgicos debido a las mezclas estudiadas que aumenten la agresividad del ataque sobre los materiales. En algunos casos, los siloxanos presentes en la mezcla han actuado inhibiendo el efecto de los VOCs más ácidos, por lo que podrían actuar como protectores frente a ambientes ácidos.

Tras los resultados y conclusiones que se han expuesto en este manuscrito sería interesante continuar con las siguientes líneas de investigación:

- Ampliación de los ensayos de estabilidad VOCs - pigmento, teniendo en cuenta las siguientes pautas:
  - Interacción pigmento - aglutinante
  - Mezcla de pigmentos
  - Reacciones sólido - gas
- Ensayos de estabilidad de VOCs - pigmentos con materiales pictóricos de origen orgánico como son los empleados en el arte moderno y contemporáneo (oleos y acrílicos).
- Implementación y evaluación de un reactor híbrido entre adsorción, polarización activa y fotocatalisis como fuente de control de la contaminación del aire interior de las vitrinas.
- Búsqueda de materiales para la construcción tanto de vitrinas como de los distintos componentes del discurso museográfico de baja emisión.

# Bibliografía

Aguado S, Polo A.C, Bernal M.P, Coronas J, Santamaría J (2004) Removal of pollutants from indoor air using zeolite membranes. *J Membr Sci.* 204:159-166.

Alenjandrina G.P, Anselmo G.F.I, Benjamín S.G, Pilar F.H, María G.M.R, Carlos B.Y.J, Ángel P.P.J, Reyes N.P, Senén D.A.J (2012) Contaminación atmosférica, UNED, Madrid, España.

Alonso L, Navazo M, Durana N, García J.A, Ilardia J.L, Gómez M.C (1999) Medidas de compuestos orgánicos volátiles atmosféricos en la C.A.P.V. I. Técnicas de medida y presentación de resultados. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco. ISBN: 84-457-1506-2.

Andersen I.B, Lundqvist G.R, Mølhave L (1975) Indoor air pollution due to chipboard used as a construction material. *Atmospheric Environment* 9:1121-1127.

Ayoko G.A, Wang H (2014) Volatile organic compounds in indoor environments. In: Pluschke P, Schleibinger H (eds) *Indoor air pollution*, 2<sup>nd</sup> edn. Handbook of environmental chemistry. Doi: 10.1007/698\_2014\_259.

Ayuni N, Apandi A, Salfarina NA, Razak A, Masri M, Yusoff S.F, Lazin A.M (2013) A preliminary study on gum Arabic as a binder in preparation of starch based edible plastic. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology* 3(2):50-52.

Bari A, Kindzierski W.B, Wheeler AJ, Hèroux M.E, Wallace L.A (2015) Source apportionment of indoor and outdoor volatile organic compounds at homes in Edmonton, Canada. *Building and Environment.* 90:114-124.

Barkley J, Bunch J, Bursey J.T, Castillo N, Cooper S.D, Davis J.M, Erickson M.D, Harris B.S.H, Krikpatrick M, Michael L, Parks S.P, Pellizzari E, Ray M, Smith D, Tomer K, Wagner R, Zweidinger R.A (1980) Gas chromatography mass spectrometry computer analysis of volatile halogenated hydrocarbons in man and his environment – a multimedia environmental study. *Biomed. Mass Spectrometry* 7(4):139-147.

Bikiaris D, Daniilia S, Sotiropoulou S, Katsimbiri O, Pavlidou E, Moutsatsou A.P, Chyssoulakis Y (1999) Ochre-differentiation through micro-Raman and micro-FTIR spectroscopies: application on wall paintings at Meteora and Athos, Greece. *Spectrochimica Acta Part A* 56:3-18.

Blesa M.A, Sánchez B (2004) Eliminación de contaminantes por fotocátalisis heterogénea, CIEMAT, Madrid, España.

Bliss S (2005) Best practices guide to residential construction: materials, finishes, and details. Wiley, London.

Bloemen H.J.Th, Burn J (1993) Chemistry and analysis of volatile organic compounds in the environment. Chapman & Hall, Londres, Inglaterra.

Borbon A, Locoge N, Veillerot M, Galloo J.C, Guillermo R (2002) Characterization of NMHCs in a French urban atmosphere: overview of the main sources. *The Science of the Total Environment.* 292:177-191.



- Bracci S, Caruso O, Galeotti M, Iannaccone R, Magrini D, Picchi D, Pinna D, Porcinai S (2015) Multidisciplinary approach for the study of an Egyptian coffin (late 22<sup>nd</sup>/early 25<sup>th</sup> dynasty): Combining imaging and spectroscopic techniques. *Spectrochimica Acta Part A* 145:511-522.
- Bradley S, Thickett D (1999) The pollution problem in perspective. In 12<sup>th</sup> Triennial Meeting, Lyon, 29 August-3 September 1999: Preprints, ed. J. Bridgland and ICOM Committee for conservation, 1:8-13. London: James & James.
- Brocco D, Fratarcangeli R, Lepore L, Petricca M, Ventrone I (1997) Determination of aromatic hydrocarbons in urban air of Rome. *Atmospheric Environment*. 31 557-566.
- Brouwer P (2006) Theory of XRF: Getting acquainted with the principles, PANalytical BV, Almelo, Países Bajos.
- Byne L.St.G (1899) The corrosion of shells in cabinets. *Journal of Conchology* 9:172-178, 253-254.
- Camuffo D, Grieken R.V, Busse H.J, Sturaro G, Valentino A, Bernardi A, Blades N, Shooter D, Gysels K, Deutsch F, Wieser M, Kim O, Ulrych U (2001) Environmental monitoring in four European museums. *Atmospheric Environment* 35:127-140.
- Camuffo D, Sturaro G, Valentino A (2000) Showcases: a really effective mean for protecting artworks? *Thermochimica Acta*. 365:65-77.
- Cane B y Shellwood J (2010) Química elemental. AG Libros, Malaga, España.
- Cao L.X, Gao Z, Suib S.L, Obee T.N, Hay S.O, Freihaut J.D (2000) Photocatalytic oxidation of toluene on nanoscale TiO<sub>2</sub> catalysts: studies of desactivation and regeneration. *Journal Catalysis*. 196:253-261.
- Cardell C, Guerra I (2016) An overview of emerging hyphenated SEM-EDX and Raman spectroscopy systems: Applications in life, environmental and materials sciences. *Trends in Analytical Chemistry* 77:156-166.
- Carp O, Huisman C.L, Reller A (2004) *Prog. Solid State Chem.* 32:33-177.
- Castel E (2013) Gran Diccionario de Mitología Egipcia, Editorial Aldebarán. Madrid.
- Chan C.Y, Chan L.Y, Wang X.M, Liu Y.M, Lee S.C, Zou S.C, Sheng G.Y, Fu M.J (2002) Volatile organic compounds in roadside microenvironments of metropolitan Hong Kong. *Atmospheric Environment*. 36:2039-2047.
- Chandak M.V, Lin Y.S (2010) Hydrophobic Zeolites as Adsorbents for Removal of VOC from Air. Dept. of Chemical Engineering, University of Cincinnati.
- Chantry G.W, Gebbie H.A, Helson C (1964) Interferometric Raman Spectroscopy Using Infra-Red Excitation. *Nature* 203:1052-1053.
- Chen J.M, Chen Z.W, Jiang Y.F, Zhang L.L (2010) Direct VUV photodegradation of gaseous  $\alpha$ -pinene in a spiral quartz reactor: intermediates, mechanism, and toxicity/biodegradability assessment. *Chemosphere* 81(9):1053-1060.
- Chen W, Zhang J.S, Zhang Z (2005) Performance of air cleaners for removing multiple volatile organic compounds in indoor air *ASHRAE Trans* 111(1):1101-1114.

Chuang J.C, Wise S.A, Cao S, Mumford J.L (1992) Chemical characterization of mutagenic fractions of particles from indoor coal combustion: A study of lung cancer in Xuan Wei, China. *Environmental & Technology* 26, no 26:999-1004.

Cicalese L, Curcuru G, Montalbano M, Shirafkan A, Georgiadis J, Rastellini C (2017) Hazardous air pollutants and primary liver cancer in Texas. *PLoS ONE* 12(10): e0185610. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185610>.

Clarisse B, Laurent A.M, Seta N, Le Moullec Y, El Hasnaoui A, Momas I (2003) Indoor aldehydes: measurements of contamination levels and identification of their determinants in Paris dwellings. *Environ. Res.* 92:245-253.

Cornelis K, Hurlbut C.S. (1997). *Manual de mineralogía 2* (4 edición). Barcelona: Reverté. p. 463. ISBN 8429146075.

de Blas M, Durana N, Navazo M, Alonso L, Gómez M.C, Gangoiti G, García J.A (2008) Avances recientes en el proceso de identificación y cuantificación de COV atmosféricos mediante un sistema GC-MS automático en línea. *Actas del XI Congreso de Ingeniería Ambiental GEO2*, pp. 225-237. ISBN: 978-84-612-3011-9.

Delaney J.K, Zeibel J.G, Thoury M, Littleton R, Palmer M, Morales K.M, de la Rie E.R, Hoenigswald A (2010) Visible and Infrared imaging spectroscopy of Picasso's Harlequin musician: mapping and identification of artist materials in situ. *Appl Spectrosc* 64:584-594.

Dewulf J, Van Langehove H (1999) Anthropogenic volatile organic compounds in ambient air and natural waters: a review on recent developments of analytical methodology, performance and interpretation of field measurement. *Journal of Chromatography A*. 843:163-177.

Directiva 1999/13/CE del Consejo de 11 de marzo de 1999 relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones.

Directiva 2001/80/CE del Parlamento Europeo y del consejo de 23 de octubre de 2001 sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de conducción.

Directiva 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del consejo de 23 de octubre de 2001 sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos.

Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.

Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).

Directiva 94/63/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 1994 sobre el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) resultantes del almacenamiento y distribución de gasolina desde las terminales a las estaciones de servicio.

Directiva 96/62/CE del Consejo de 27 de septiembre de 1996 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente

Do D.H, Van Langenhove H, Chigbo S. I, Amare A.N, Demeestere K, Walgraeve C (2014) Exposure to volatile organic compounds: Comparison among different transportation modes. *Atmospheric Environment*. 94:53-62.

Doherty B.T, Kwok R.K, Curry M.D, Ekenga C, Chambers D, Sandler D.P, Engel L.S (2017) Associations between blood BTEX concentrations and hematologic parameters among adult residents of the U.S. Gulf States. *Environmental Research* 156:579-587.

DOMUS 15216. Dpto de Antigüedades Egipcias y del Próximo Oriente. Museo Arqueológico Nacional.

DOMUS 15222. Dpto de Antigüedades Egipcias y del Próximo Oriente. Museo Arqueológico Nacional.

DOMUS 15229. Dpto de Antigüedades Egipcias y del Próximo Oriente. Museo Arqueológico Nacional.

DOMUS 18253. Dpto de Antigüedades Egipcias y del Próximo Oriente. Museo Arqueológico Nacional.

DOMUS 20135. Dpto de Antigüedades Egipcias y del Próximo Oriente. Museo Arqueológico Nacional.

Druzik J.R (1991) Mechanical methods of indoor air pollution control. In *Abstracts of Papers Presented at the 19<sup>th</sup> Annual Meeting*, Albuquerque, New Mexico, June 3-8, 1991, ed. P. Hatchfield, 48. Washington, D.C.: American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

Durana N, Navazo M, Gómez M.C, Alonso L, García J.A, Ilardia J.L, Gangoiti G, Iza J (2006) Long term hourly measurement of 62 non-methane hydrocarbons in an urban area: Main results and contribution of non-traffic sources. *Atmospheric Environment*. 40: 2860-2872

Edwards R.D, Jurvelin J, Koistinen K, Saarela C.K, Jantunen M.J (2001b) VOC source identification from personal and residential indoor, outdoor and workplace microenvironment samples in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment*. 35: 4829-4841

Edwards R.D, Jurvelin J, Saarela K, Jantunen M (2001a) VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment*. 35: 4531-4543

Esteve-Turillas F.A, Pastor A, de la Guardia M (2007) Assessing air quality inside vehicles and at filling stations by monitoring 400 benceno, tolueno, 401 ethylbenceno and xylenes with the use of semi permeable membrane 402 devices. *Anal. Chim. Acta*. 593:108-116.

European Environment Agency (2015) *Air quality in Europe*. Ciudad de Luxemburgo, Luxemburgo.

Fan X, Zhu T.L, Wang M.Y, Li X.M (2009) Removal of low-concentration BTX in air using a combined plasma catalysis system. *Chemosphere* 75(10):1301-1306.

Gallego R, Sanz J.C (2005) *Guía de coloraciones*. Madrid: H. Blume. ISBN 84-89840-31-8.

Gautrois M, Koppmann R (1999) Diffusion technique for the production of gas standards for atmospheric measurements. *Journal of Chromatography A*. 848:239-249.

Granby K, Christensen C.S (1997) Urban and semi-rural observations of carboxylic acids and carbonyls. *Atmospheric environment* 31 no. 10:1403-1415.

Gražėnaitė E, Kiuberis J, Beganskienė A, Senvaitienė J, Kareiva A (2014) XRD and FTIR characterization of historical green pigments and their lead-based glazes. *Chemija* 25(4):199-205.

Gruchow F, Machill S, Thiele S, Herm C, Salzer R (2009) Imaging FTIR spectroscopic investigations of wood: paint interface of aged polychrome art objects. *E-PreservationScience* 6:145-150.

Grzywacz C.M (1989) GCI general survey of U.S. museums: Carbonyl and organic acid pollutants in the museum environment. Final Report. Getty Conservation Institute, Marina del Rey, California.

Grzywacz C.M (2006) Tools for conservation: Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments. Capítulo 2: the effect of gaseous pollutants on objects. Getty Publications. Los Angeles, California.

Grzywacz C.M (2006) Tools for conservation: Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments. Capítulo 5: planning and conducting an air quality monitoring program. Getty Publications. Los Angeles, California

Guieysse B, Hort C, Platel V, Munoz R, Ondarts M, Revah S (2008) Biological treatment of indoor air for VOC removal: potential and challenges. *Biotechnol Adv* 26(5):398-410.

Guo H, Lee S.C, Li W.M, Cao J.J (2003) Source characterization of BTEX in indoor microenvironments in Hong Kong. *Atmospheric Environment*. 37: 73-82

Haagen-Smit A.J, Fox M.M (1956) Ozone Formation in Photochemical Oxidation of Organic Substances. *Industrial & Engineering Chemistry* 48:1484-1487.

Haro-García L.C, González-Bonilla C.R, Chacón-Salinas R, Pérez-Lucio C, Juárez-Pérez C.A, Borja-Aburto V.H (2008) Exposición ocupacional a mezcla de benceno-tolueno-xileno. Manifestaciones hematoinmunológicas. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social* 46(6):643-650.

Hatchfield P.B, Carpenter J.M (1987) The Problem of formaldehyde in Museum Collections. *International Journal of Museum Management and Curatorship* 5:183-188.

Hay S.O, Obee T.N, Thibaud-Erkey C (2010) The desactivation of photocatalytic based air purifiers by ambient siloxanes. *Applied Catalysis B: Environmental* 99:435-441.

Health & Safety Executive (HSE) UK Government. (MDHS 104) (2016). Volatile organic compounds in air. Laboratory method using sorbent tubes, sorbent desorption or thermal desorption and gas chromatography. This MDHS is available at: [www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/index.htm](http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/index.htm).

Health & Safety Executive (HSE) UK Government. (MDHS 80) Methods for the Determination of Hazardous Substances (1995). Volatile organic compounds in air. Laboratory method using diffusive solid sorbent tubes, thermal desorption and gas chromatography. ISBN: 0-7176-0913-8.

Health & Safety Executive (HSE) UK Government. (MDHS 96) Methods for the Determination of Hazardous Substances (2000). Volatile organic compounds in air (4). Laboratory method using pumped solid sorbent tubes, sorbent desorption and gas chromatography. ISBN: 0-7176-1756-4.

Herrmann J.M (1999) Catal. Today 53:115-129.

Hirschfeld J.R, Chase D.B (1986) FT-Raman Spectroscopy: Development and Justification. Appl. Spectrosc. 40:133-137.

Hodgson A.T, Girman J.R, Binenboym J (1986) a multisorbent sampler for volatile organic compounds in indoor air. Presented at the 79<sup>th</sup> annual meeting of the Air Pollution Control Association in Minneapolis, MN, June. Air Pollution Control Association, Pittsburgh, PA, paper no. 86-37.1. Lawrence Berkeley Laboratory Berkeley, CA, Report LBL-21378.

Hong S.M, Candelone J.P, Patterson C.C, Boutron C.F (1996) History of ancient copper smelting pollution during Roman and Medieval times recorded in Greenland ice. Science 272 no. 5259:46-49.

Hradil D, Grygar T, Hradilová J, Bezdička P (2003) Clay and iron oxide pigments in the history of painting. Applied Clay Science 22:223–236.

<http://blog.rtve.es/historiasecretamomias>. Consultado julio 2018

<http://sensing.konicaminolta.com.mx>. Consultado julio 2018

[http://www.airelimpio.com/blog/proyecto\\_air\\_arte](http://www.airelimpio.com/blog/proyecto_air_arte). Consultado julio 2018

<http://www.artederestaurar.es>. Consultado julio 2018

<http://www.chenso.com>. Consultado julio 2018

[http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calibre/consulta/descarga\\_opendata.html?\\_locale=es&CSRF\\_TOKEN=7940151601af2ed4bdab72b88b815388f35db606](http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calibre/consulta/descarga_opendata.html?_locale=es&CSRF_TOKEN=7940151601af2ed4bdab72b88b815388f35db606).

Consultado julio 2018

<http://www.man.es/man/home.html>. Consultado julio 2018

<https://www.google.es/maps>. Consultado julio 2018

<https://iavi.rti.org/WorkshopsAndConferences.cfm?PageID=documentDetails&AttachID=553>.

Consultado julio 2018

<https://webbook.nist.gov>. Consultado julio 2018

<https://www.chemsafetypro.com>. Consultado julio 2018

<https://www.cosmos.com.mx>. Consultado julio 2018

<https://www.quiminet.com>. Consultado julio 2018

<https://www.webExhibits.org>. Consultado julio 2018

Huang Z.H, Kang F, Liang K.M, Hao J (2003) Breakthrough of methylethylketone and benzene vapors in activated carbon fiber beds. J Hazard Mater B98:107-115.

Hubbard H.F, Coleman B.K, Sarwar G, Corsi R.L (2005) Effects of an ozone-generating air purifier on indoor secondary particles in three residential dwellings. *Indoor Air* 15(6):432-444.

Huggahalli M, Fair J (1996) Steam Regeneration of Activated Carbon Beds. American Institute of Chemical Engineers, Annual Meeting.

Ihara T, Miyoshi M, Iriyama Y, Matsumoto O, Sugihara S (2003) Visible-light-active titanium oxide photocatalyst realized by an oxygen-deficient structure and by nitrogen doping. *Appl Catal B Environ* 42:403-409.

INSHT, Calidad de aire interior: compuestos orgánicos volátiles, olores y confort, NTP 972, Barcelona, España, 2013.

INSHT, Determinación de formaldehído en aire-Método de captación en sílica gel impregnada con 2,4-dinitrofenilhidracina/cromatografía líquida de alta resolución, MTA/MA-062/A08, Madrid España, 2001.

INSHT, Enciclopedia de seguridad y salud en el trabajo, edición española de la original de la OIT, Madrid, España, 1998.

INSHT, Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos, NTP 607, Barcelona, España, 2001.

INSHT, Límites de exposición profesional para agentes químicos en España, 2016.

Iperion CH | Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Cultural Heritage <http://www.iperionch.eu/>.

ISO 11843-1. Capability of detection. Part 1: Terms and definitions. ISO, Genève, 1997.

IUPAC, Union Internacional de Química Pura y Aplicada (1990) Glossary of atmospheric Chemistry terms. *Pure and Applied Chemistry*. 62:2167-2219. Compiled and prepared for publication by J.G. Calvert.

IUPAC, Union Internacional de Química Pura y Aplicada (1995) Nomenclature in Evaluation of Analytical Methods including Detection and Quantification Capabilities, *Pure & Appl. Chem.*, 67:1699-1723.

Jaffe D, McKendry I, Anderson T, Price H (2003) Six “new” episodes of trans-Pacific transport of air pollutants. *Atmospheric Environment* 37, no. 3:391-404.

Jia C, Batterman S, Godwin C (2008a) VOCs in industrial, urban and suburban neighborhoods, Part 1: Indoor and outdoor concentrations, variation, and risk drivers. *Atmospheric Environment*. 42:2083-2100.

Jia C, Batterman S, Godwin C (2008b) VOCs in industrial, urban and suburban neighborhoods, Part 2: Factors affecting indoor and outdoor concentrations. *Atmospheric Environment*. 42:2101-2116.

Jo W.K, Park J.H, Chum H.D (2002) Photocatalytic destruction of VOCs for in-vehicle air cleaning. *J Photochem Photobiol A Chem* 148:109-119.

Jo W.K, Yang C.H (2009) Granular-activated carbon adsorption followed by annular-type photocatalytic system for control of indoor aromatic compounds. *Sep Purif Technol* 66(3):430-442.

Johansson L.G (1990) Synergistic effects of air pollutants on the atmospheric corrosion of metals and calcareous stones. *Marine Chemistry* 30:13-22.

Johnston J.E, Gibson J.M (2014) Spatiotemporal variability of Tetrachloroetileno in residential indoor air due to vapor intrusion: a longitudinal, community-based study. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 24: 564-571

Judd D.B (1975) *Color in Business Science and Industry*, John Wiley & Sons, Inc 3ª edición.

Katritzky A.R, Gordeevat E.V (1993) Traditional Topological Indices vs Electronic, Geometrical and Combined Molecular descriptors in QSAR/QSPR Research. *Journal of chemical information and computer sciences*. 33:835-857.

Katritzky A.R, Ignatchenko E.S, Barcock R.A, Lobanov V.S, Karelson M (1994) Prediction of gas chromatographic retention times and response factors using a general quantitative structure property relationship treatment. *Analytical Chemistry*. 66:1799-1807.

Kennes C, Montes M, Lopez ME, Veiga M.C (2009) Waste gas treatment in bioreactors: environmental engineering aspects. *Can J Civ Eng* 36:1887-1894.

Kim K.-H, Shon Z.-H, Kim M.-Y, Sunwoo Y, Jeon E.-C, Hong J.-H (2008) Major aromatic VOC in the ambient air in the proximity of an urban landfill facility. *Journal of Hazardous Materials*. 150:754-764.

Kim K.J, Ahn H.G (2012) The effect of pore structure of zeolite on adsorption of VOCs and their desorption properties by microwave heating. *Microporous Mesoporous Mater* 152:78-83.

Klumpp E, Heitmann H, Schwuger M.J (1993) Synergistic effects between cations surfactants and organic pollutants on clay minerals. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 78:93-98.

Kontozova-Deutsch V, Cardell C, Urosevic M, Ruiz-Agudo E, Deutsch F, Van Grieken R (2011) Characterization of indoor and outdoor atmospheric pollutants impacting architectural monuments: the case of San Jerónimo Monastery (Granada, Spain). *Environ Earth Sci* 63:1433–1445.

Kontozova-Deutsch V, Krata A, Deutsch F, Bencs L, Van Grieken R (2008) Efficient separation of acetate and formate by ion chromatography: Application to air samples in a cultural heritage environment. *Talanta* 75:418-423.

Krost K.J, Pellizzari E.D, Walburn S.G, Hubbard S.A (1982) Collection and analysis of hazardous organic emissions. *Anal. Chem*. 54:810-817.

Kuntasal Ö.O, Karman D, Tuncel G (2003) Measurement of traffic related toxic air pollutants in an urban atmosphere. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*. 3: 175-192.

Lassen C, Hansen C.L, Mikkelsen S.H, Maag J (2005) *Siloxanes-Consumption, Toxicity and Alternatives*. Environmental project N° 1031. Danish Ministry of the Environment.

Liang Y, Wu Y, Sun K, Chen Q, Shen F, Zhang J, Yao M, Zhu T, Fang J (2012) Rapid inactivation of biological species in the air using atmospheric pressure nonthermal plasma. *Environ Sci Technol* 46(6):3360-3368.

Liébana E.A, Calleja A.H (1998) El aire en interiores: métodos de control y depuración. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo* 45:7-11.



[www.insht.es/Inshtweb/Contenidos/Documentación/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/45.pdf](http://www.insht.es/Inshtweb/Contenidos/Documentación/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/45.pdf) Accessed 22 June 2018.

Llagostera E. (2015) Asociación Española de Ensayos No Destructivos (AEND), 71:4-17.

Lu Y, Liu J, Lu B, Jiang A, Wan C (2010) Study on the removal of indoor VOCs using biotechnology. *J Hazard Mater* 182:204-209.

Luo E.H, Holton C, Guo Y, Johnson P.C (2012) Field and modeling studies of indoor air sources effects on subslab soil gas concentrations. Presented at 21<sup>st</sup> Annual International Conference on Soil, Water, Energy and Air. Association of Environmental Health and Sciences (AEHS). San Diego, CA.

Marotta L, Kwoka T, Snow M, Varisco S, Analysis of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Using US EPA Method TO-17, PerkinElmer, Waltham, USA, 2015.

Martín Gil J, Martín Gil F.J, Delibes de Castro G, Zapatero Magdaleno P, Sarabia Herrero F.J (1994) Neolítico. Uso del Cinabrio. *Investigación y Ciencia* (219).

Martín-Gil J, Martín-Gil F.J, Delibes de Castro G, Zapatero Magdaleno P, Sarabia Herrero F.J (1995) The first known use of vermilion. *Cellular and Molecular Life Sciences* 51(8):759-761.

Martinotti I, Cirla AM, Cottica D, Cirla P.E (2011) Assessment of exposure to cancerogenic aromatic hydrocarbon during controlled access highways management activities. *Giornale italiano di medicina del lavoro ed ergonomia*. 33:112-115.

Masciotta M.G, Roque J.C.A, Ramos L.F, Lourenço P.B (2016) A multidisciplinary approach to assess the health state of heritage structures: The case study of the Church of Monastery of Jerónimos in Lisbon. *Construction and Building Materials* 116:169–187.

Mayer R (1991) *The Artist's Handbook of Materials and Techniques*. New York: Viking. p. 437. ISBN 0-670-83701-6.

McBain J.W (1932) *The Sorption of Gases and Vapors by Solids*. G. Rutledge & Sons, Londres, Inglaterra.

McDonald B.C, de Gouw J.A, Gilman J.B, Jathar S.H, Akherati A, Cappa C.D, Jimenez J.L, Lee-Taylor J, Hayes P.I, McKeen S.A, Cui Y.Y, Kim S, Gentner D.R, Isaacman-VanWertz G, Goldstein A.H, Harley R.A, Frost G.J, Roberts J.M, Ryerson T.B, Trainer M (2018) Volatile chemical products emerging as largest petrochemical sources of urban organic emissions. *Science*. 359:760-764.

Medina Sánchez M.C, La elaboración de los ataúdes de madera en el Egipto Faraónico, Asociación Española de Egiptología, Madrid, España, 2015.

Mølhave L (1987) The sick buildings - a sub-population among the problem buildings? In *Indoor Air '87: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, August 17-21, 1987, 469-474. Institute for Water, Soil, and Air Hygiene, Berlin (West).

Mølhave L, Bach B, Pedersen O.F (1986) Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds. *Environ. Int.* 12:167-175.

Navas N, Romero-Pastor J, Manzano E, Cardell C (2008) Benefits of applying combined diffuse reflectance FTIR spectroscopy and principal component analysis for the study of blue tempera historical painting. *Analytica Chimica Acta* 630:141–149.

Nazaroff W.W (2013) Editorial. Four principles for achieving good indoor air quality. *Indoor Air* 23:353-356.

Oğuz Ö, Karman D, Tuncel G (2003) Measurement of traffic related toxic air pollutants in an urban atmosphere. *Water, Air and Solid Pollution: Focus*. 3:175-192.

Ohura T, Amagai T, Shen X, Li S, Zhang P, Zhu L (2009) Comparative study on indoor air quality in Japan and China: Characteristics of residential indoor and outdoor VOCs. *Atmospheric Environment*. 43:6352-6359.

Oliver K.D, Pleil J.D, McCleanny W.A (1986) Sample integrity of trace level volatile organic compounds in ambient air stored in summa polished canisters. *Atmos. Environ*. 20:1403-1411.

OMS, (2014) Burden of disease from Household Air Pollution for 2012, Air pollution estimates, Ginebra, Suiza.

Orío A, Pallarés M, Beltrán S, Reina F, Javato R, Cornide M.J (2014) Análisis de la calidad de aire en España. Evolución 2001-2012, Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial, Madrid, España.

Ostrooumov M (2007) Espectrometría infrarroja de reflexión en mineralogía avanzada, gemología y arqueometría. Instituto de Geofísica. Universidad Autónoma de México. México.

Otto D, Mølhave L, Rose G, Hudnell H.K, House D (1990) Neurobehavioral and sensory irritant effects of controlled exposure to a complex mixture of volatile organic compounds. *Neurotox. Teratol*. 12:649-652.

Palache C, Berman H, Frondel C (1944), *The System of Mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana Yale University 1837-1892, Volume I: Elements, Sulfides, Sulfosalts, Oxides*. John Wiley and Sons, Inc., New York. 7th edition, revised and enlarged: 519.

Palmes E.D, Gunnison A.F (1973) Personal Monitoring Device for Gaseous Contaminants. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 34:78-81.

Parra M.A, Elustondo D, Bermejo R, Santamaría J.M (2008) Quantification of indoor and outdoor volatile organic compounds (VOCs) in pubs and cafés in Pamplona, Spain. *Atmospheric Environment*. 42:6647-6654.

Parra M.A, Elustondo D, Bermejo R, Santamaría J.M (2009) Ambient air levels of volatile organic compounds (VOC) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) in a medium size city in Northern Spain. *Science of the Total Environment*. 407:999-1009.

Pérez-Rodríguez L (2013) La medición del color: técnicas y fundamentos para el estudio y la ecología de las aves. *Revista de anillamiento* 31-32.

Pichat P, Disdier J, Hoang-Van C, Mas D, Goutailler G, Gaysse C (2000) Purification/deodorization of indoor air and gaseous effluents by TiO<sub>2</sub> photocatalysis. *Catal Today* 63:363-369.

Pough F.H (1998) *A Field Guide to Rocks and Minerals*. Houghton Mifflin Harcourt; 5ª edición.

Pozo-Antonio J.S, Barral D, Herrera A, Elert K, Rivas T, Cardell C (2018) Effect of tempera paint composition on their superficial physical properties application of interferometric profilometry and hyperspectral imaging techniques. *Progress in Organic Coatings* 117:56-68.

Preusser F, Druzik J.R (1989) Environmental research at the Getty Conservation Institute. *Restaurator* 10:160-196.

Ras-Marroquí M.R, Marcé-Recasens R.M, Borrull-Ballarín F (2007) Determination of volatile organic compounds in urban and industrial air from Tarragona by thermal desorption and gas chromatography–mass spectrometry. *Talanta* 72:941–950.

Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.

Robinson J, Nelson W.C (1995) National Human Activity. Pattern Survey Data Base. United States EPA, Research Triangle Park, NC.

Romani A, Grazia C, Anselmi C, Miliani C, Brunetti, B.G (2011) New portable instrument for combine reflectance , time resolved and steady-state luminescence measurements on works of art. *Proc. SPIE* 8084, 808403.

Romero-Pastor J, Cardell C, Yebra-Rodríguez Á, Rodríguez-Navarro A.B (2013) Validating chemical and structural changes in painting materials by principal component analysis of spectroscopic data using internal mineral standards. *Journal of Cultural Heritage* 14:509–514.

Rosi F, Daveri A, Doherty B, Nazzareni S, Brunetti B.G, Sgamellotti A, Miliani C (2010) On the use of overtone and combination bands for the analysis of the  $\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$  system by Mid-Infrared reflection spectroscopy. *Applied spectroscopy* 64(8):956-963.

Russell H, Ayliffe's (2004) Principles & Practice of Disinfection, Preservation and Sterilization. Types of antimicrobial agent.

Ryhl-Svendsen M, Glastrup J (2002) Acetic acid and formic acid concentrations in the museum environment measured by SPME-GC/MS. *Atmospheric Environment* 36:3909–3916.

Sánchez B, Sánchez-Muñoz M, Muñoz-Vicente M, Cobas G, Portela R, Suárez S, González A.E, Rodríguez N, Amils R (2012) Photocatalytic elimination of indoor air biological and chemical pollution in realistic conditions. *Chemosphere* 87:625-630.

Sánchez B, Vilanova O, Canela M.C, Gómez T (2015) Calidad del aire interior de las vitrinas en el nuevo Museo Arqueológico Nacional. *Boletín del Museo Arqueológico Nacional* 33:367-381.

Sánchez M y García Diego C (2009) Determinación de aniones comunes en aguas continentales mediante cromatografía iónica. Procedimiento específico CIEMAT QMPTIE03.

Sánchez M, García Diego C y Clavero M.A (2009) Determinación de cationes alcalinos, alcalinotérreos y amonio en aguas mediante cromatografía iónica. Informe CIEMAT QMPTIE06.

Sandler D.P, Everson R.B, Wilcox A.J, Browder J.P (1985) Cancer risk in adulthood from early life exposure to parent's smoking. *Am. J. Public Health* 75:467.

Schieweck A, Lohrengel B, Siwinski N, Genning C, Salthammer T (2005) Organic and inorganic pollutants in storage rooms of the Lower Saxony State Museum Hanover, Germany. *Atmospheric Environment*. 39:6098-6108.

Schramm H.P, Hering B (1995) Historische Malmaterialien und ihre Identifizierung. Stuttgart, ISBN 3-473-48067-3.

Sharpe A.G, (1976) The Chemistry of Cyano Complexes of the Transition Metals. Academic Press: London.

Sidheswaran M.A, Destailats H, Sullivan D.P, Cohn S, Fisk W.J (2012) Energy efficient indoor VOC air cleaning with activated carbon fiber (ACF) filters. Build Environ 47:357-367.

Skoog D, Leary J.J (1994) Análisis instrumental. McGraw-Hill, cuarta edición, México. ISBN: 84-481-0191-X.

Sola P, Yacobaccio H.D, Rosenbusch M, Alonso M.S, Maier M.S, Vázquez C, Catá M.P (2013) Hematita Vs. Arcillas: Su Potencial Como Pigmentos Rojos Y Su Uso En Tres Sitios De La Puna Jujeña (Argentina). Boletín del museo chileno de arte precolombino.

Souza S, Carvalho L.R.F (1997) Determinação de ácidos carboxílicos na atmosfera urbana de são paulo. uma abordagem analítica e ambiental. Quimica Nouva. 20(3):245-251.

Souza S.R, Carvalho L.R.F (1997) Determinação De Ácidos Carboxílicos Na Atmosfera Urbana De São Paulo. Uma Abordagem Analítica E Ambiental. Quimica nova 20(3):245-251.

Souza S.R, Carvalho L.R.F (2001) Origin And Implication Of Carboxylic Acids In The Atmosphere. Quimica nova 24(1):60-67.

Souza S.R, Vasconcellos P.C, Carvalho L.R.F (1999) Low molecular weight carboxylic acids in an urban atmosphere: Winter measurements in Sa8o Paulo City, Brazil. Atmospheric Environment 33:2563-2574.

Stjernfeldt M, Berglund K, Lindsten J, Ludvigsson J (1986) Maternal smoking during pregnancy and risk of childhood cancer. Lancet June 14:1350-1352.

Strini A, Cassese S, Schiavi L (2005) Measurement of benzene, toluene, ethylbenzene and o-xylene gas phase photodegradation by titanium dioxide dispersed in cementious materials using mixed flow reactor. Applied Catalysis B-Environmental 61:90-97.

Sun S, Ding J, Bao C, Gao C, Qi Z, Li C (2010) Catal. Lett. 137:239-246.

Suryanarayana C, Grant Norton M, X-ray diffraction: a practical approach, Plenum Press, Nueva York, Estados Unidos, 1998.

Svensson J.E, Johansson L.G (1996) The synergistic effect of hydrogen sulfide and nitrogen dioxide on the atmospheric corrosion of zinc. Journal of the Electrochemical Society 143 no. 1:51-58.

Swanson H.E, Gilfrich N.T, Cook M.I (1956) data for 44 inorganic substances. NBS Circular 539 Vol. 6.

The International Centre for Diffraction Data - ICDD - a non-profit scientific organization dedicated to collecting, editing, publishing, and distributing powder diffraction data <http://www.icdd.com/>.

U.S. Environmental Protection Agency Office (U.S. EPA.) 1998. Technical Assistance Document (TAD) for Sampling and Analysis of Ozone Precursors; EPA/600-R-98/161. <http://www.epa.gov/ttn/amtic/pams.html>.

U.S. Environmental Protection Agency Office (U.S. EPA.) 1999. "Air Method, Toxic Organics-15 (TO-15): Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in

Ambient Air, Second Edition: Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Collected in Specially-Prepared Canisters and Analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)." EPA 625/R-96/010b.

U.S. Environmental Protection Agency Office (U.S. EPA.) 1999. "Air Method, Toxic Organics-15 (TO-16): Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Second Edition: Long-Path Open-Path Fourier Transform Infrared Monitoring Of Atmospheric Gases." EPA/625/R-96/010b.

U.S. Environmental Protection Agency Office (U.S. EPA.) 1999. "Air Method, Toxic Organics-15 (TO-17): Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Second Edition: Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes." EPA/625/R-96/010b.

U.S. Environmental Protection Agency Office (U.S. EPA.) 1999. "Air Method, Toxic Organics-15 (TO-11A): Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Second Edition: Determination of Formaldehyde in Ambient Air Using Adsorbent Cartridge Followed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) [Active Sampling Methodology]." EPA/625/R-96/010b.

U.S. Environmental Protection Agency Office (U.S. EPA.) 1999. "Boletín Técnico: Seleccionando un sistema de adsorción para COV: ¿Carbón, Zeolita o Polímeros?" EPA/456/F-00-001.

U.S. Environmental Protection Agency Office (U.S. EPA.) 2014. "Passive Samplers for Investigation of Air Quality: Method Description, Implementation, and Comparison to Alternative Sampling Methods." EPA /600/R-14/434.

U.S. Environmental Protection Agency Office Indoor Air Quality (U.S. EPA IAQ). 1991. Indoor Air Facts No. 4 (revised) Sick Building Syndrome. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/indoor-air-facts-no-4-sick-building-syndrome>.

U.S. Environmental Protection Agency Office Industry Sectors Groups (U.S. EPA.ISG) 2017 <https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/clean-air-act-guidelines-and-standards-waste-management>.

U.S. Environmental Protection Agency Office of Air and Radiation (U.S. EPA OAR). 1990. Clean Air Act as Amended in 1990. [http://www.epa.gov/oar/oaq\\_caa.html](http://www.epa.gov/oar/oaq_caa.html).

UNE 171212 (2008) Calidad de aire interior. Buenas prácticas en las operaciones de limpieza.

UNE 171330-1 (2008) Calidad ambiental en interiores. Parte 1: Diagnóstico de calidad ambiental interior.

UNE 171330-2 (2014) Calidad ambiental en interiores. Parte 2: Procedimientos de inspección de calidad ambiental interior.

UNE 171330-3 (2010) Calidad ambiental en interiores. Parte 3: Sistema de gestión de los ambientes interiores.

UNE 171340 (2012) Validación y cualificación de salas de ambiente controlado en hospitales.

UNE-EN ISO 16000-1 (2006) Aire de interiores. Parte 1: Aspectos generales de la estrategia de muestreo. (ISO 16000-1:2004).

UNE-EN ISO 16000-10 (2006) Aire de interiores. Parte 10: Determinación de la emisión de compuestos orgánicos volátiles de los productos de la construcción y del mobiliario. Método del ensayo de emisión en célula. (ISO 16000-10:2006).

UNE-EN ISO 16000-11 (2006) Aire de interiores. Parte 11: Determinación de la emisión de compuestos orgánicos volátiles de los productos de la construcción y del mobiliario. Almacenamiento y toma de muestras y preparación de las probetas.

UNE-EN ISO 16000-12 (2009) Estrategia de muestreo para la determinación de las concentraciones de policlorobifenilos (PCBs), policlorodibenzo-p-dioxinas (PCDDs), policlorodibenzofuranos (PCDFs) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs). (ISO 16000-12:2008).

UNE-EN ISO 16000-13 (2015) Determinación de los bifenilos policlorados y los dibenzofuranos dibenzo-p-dioxinas policloradas totales (fase gaseosa y partículas). Captación de filtros de absorción.

UNE-EN ISO 16000-14 (2015) Determinación de los bifenilos policlorados y los dibenzofuranos dibenzo-p-dioxinas policloradas totales (fase gaseosa y partículas). Extracción, purificación y análisis por cromatografía de gases/espectrometría de masas de alta resolución.

UNE-EN ISO 16000-15 (2010) Medición del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

UNE-EN ISO 16000-16 (2016) Detección y recuento de mohos. Muestreo de hongos por filtración.

UNE-EN ISO 16000-17 (2016) Detección y recuento de mohos. Método basado en cultivos.

UNE-EN ISO 16000-18 (2011) Indoor air -- Part 18: Detection and enumeration of moulds -- Sampling by impaction.

UNE-EN ISO 16000-19 (2015) Aire de interiores. Parte 19: Estrategia de muestreo para mohos. (ISO 16000-19:2012).

UNE-EN ISO 16000-2 (2006) Estrategia de muestreo de formaldehído (ISO 16000-2:2004).

UNE-EN ISO 16000-20 (2014) Indoor air -- Part 20: Detection and enumeration of moulds -- Determination of total spore count.

UNE-EN ISO 16000-21 (2013) Indoor air -- Part 21: Detection and enumeration of moulds -- Sampling from materials.

UNE-EN ISO 16000-23 (2009) Ensayo de rendimiento para evaluar la reducción de las concentraciones de formaldehídos mediante materiales de edificación adsorbentes.

UNE-EN ISO 16000-24 (2009) Ensayos de rendimiento para evaluar la reducción de la concentración de compuestos orgánicos volátiles y compuestos carbonílicos excepto los formaldehídos mediante materiales de edificación adsorbentes.

UNE-EN ISO 16000-25 (2011) Determinación de la emisión de compuestos orgánicos semi-volátiles para productos de construcción.

UNE-EN ISO 16000-26 (2012) Estrategia de muestreo para el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

UNE-EN ISO 16000-27 (2014) Método estándar para el análisis cuantitativo de fibras de asbestos en polvo depositado.

UNE-EN ISO 16000-28 (2012) Evaluación sensorial de las emisiones de los productos y materiales de los edificios.

UNE-EN ISO 16000-29 (2014) Métodos de ensayo para detectores de COV.

UNE-EN ISO 16000-3 (2006) Determinación del formaldehído y otros compuestos carbonílicos. Método de muestreo activo.

UNE-EN ISO 16000-30 (2014) Ensayo sensorial del aire interior.

UNE-EN ISO 16000-31 (2014) Medición de los retardantes de llama y plastificadores basados en compuestos organofosforados. Ester ácido fosfórico.

UNE-EN ISO 16000-32 (2015) Aire de interiores. Parte 32: Investigación de la presencia de contaminantes en los edificios. (ISO 16000-32:2014).

UNE-EN ISO 16000-33 (2017) Determinación de ftalatos por cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC/MS).

UNE-EN ISO 16000-4 (2006) Determinación de formaldehído. Método de muestreo difusivo. (ISO 16000-4:2004).

UNE-EN ISO 16000-5 (2009) Estrategia de muestreo de los compuestos orgánicos volátiles. (ISO 16000-5:2007).

UNE-EN ISO 16000-6 (2006) Determinación de compuestos orgánicos volátiles en aire de interiores y de cámaras de ensayo mediante muestreo activo con adsorbente Tenax TA, desorción térmica y cromatografía de gases empleando MS/FID. (ISO 16000-6:2004).

UNE-EN ISO 16000-7 (2009) Estrategia de muestreo para la determinación de las concentraciones de fibra de asbesto en suspensión. (ISO 16000-7:2007).

UNE-EN ISO 16000-8 (2007) Determinación de la edad media del aire local en edificios para la caracterización de las condiciones de ventilación.

UNE-EN ISO 16000-9 (2006) Aire de interiores. Parte 9: Determinación de la emisión de compuestos orgánicos volátiles de los productos de la construcción y del mobiliario. Método del ensayo de emisión en cámara. (ISO 16000-9:2006).

Vandenbroucke A.M, Morent R, De Geyter N, Leys C (2011) Non-thermal plasmas for non-catalytic and catalytic VOC abatement. J Hazard Mater 195:30-54.

Vetter W, Schreiner M (2010) Characterization of pigment-binding media systems-comparison of non-invasive in-situ reflection FTIR with transmission FTIR microscopy. E-PreservationScience 8:10-22.

Vilanova O, Rodicio S, Canela M.C, Gómez T, Sánchez B (2016) Nuevos aires para una Momia Guanche. Del Museo Antropológico al Arqueológico Nacional (I). Caracterización química 13º Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) Madrid, Spain. ISBN: 978-84-617-7390-9.

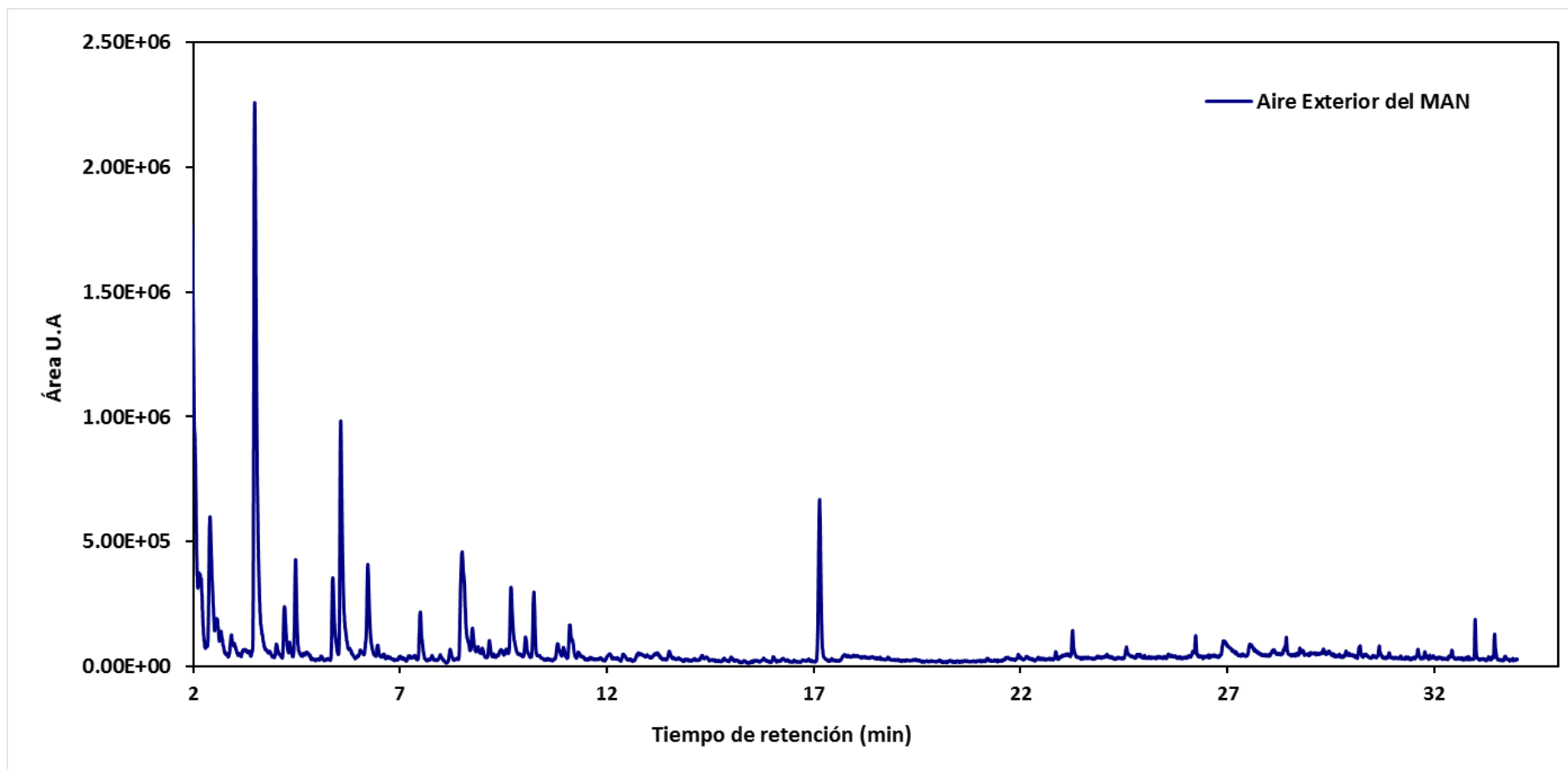
Villanueva F, Tapia A, Amo-Salas M, Notario A, Cabañas B, Martínez E (2015) Levels and sources of volatile organic compounds including carbonyls in indoor air of homes of Puertollano, the most industrialized city in central Iberian Peninsula. Estimation of health risk. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 218(6):522-534.

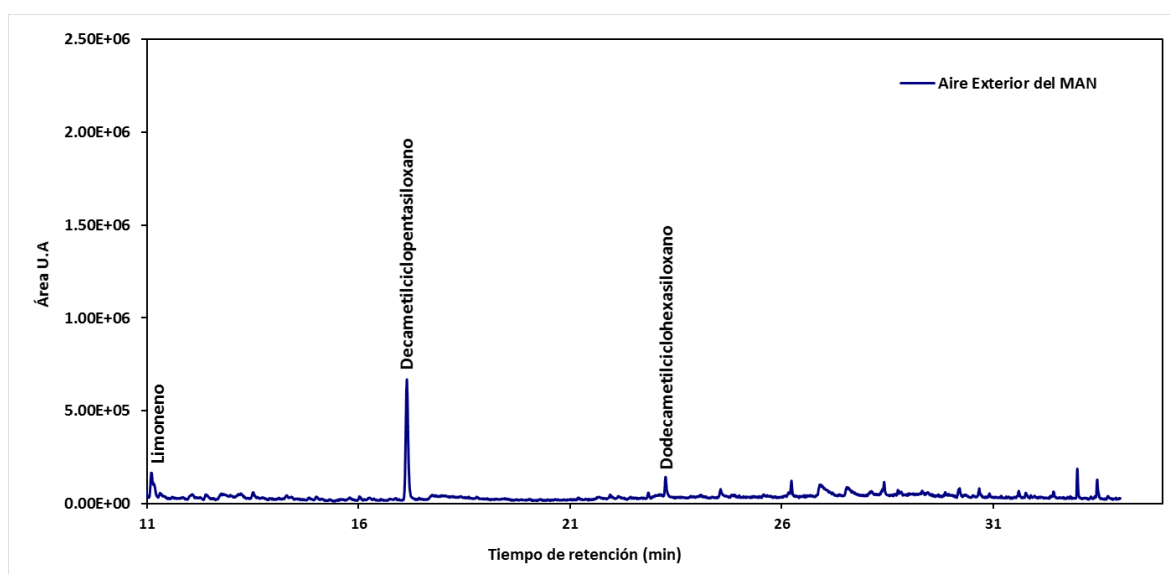
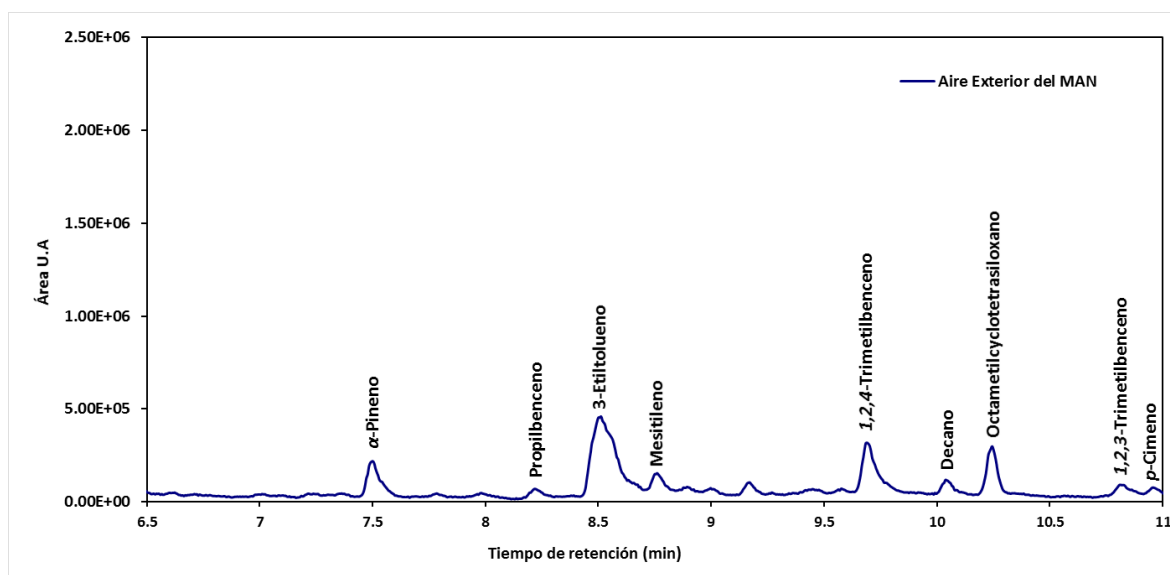
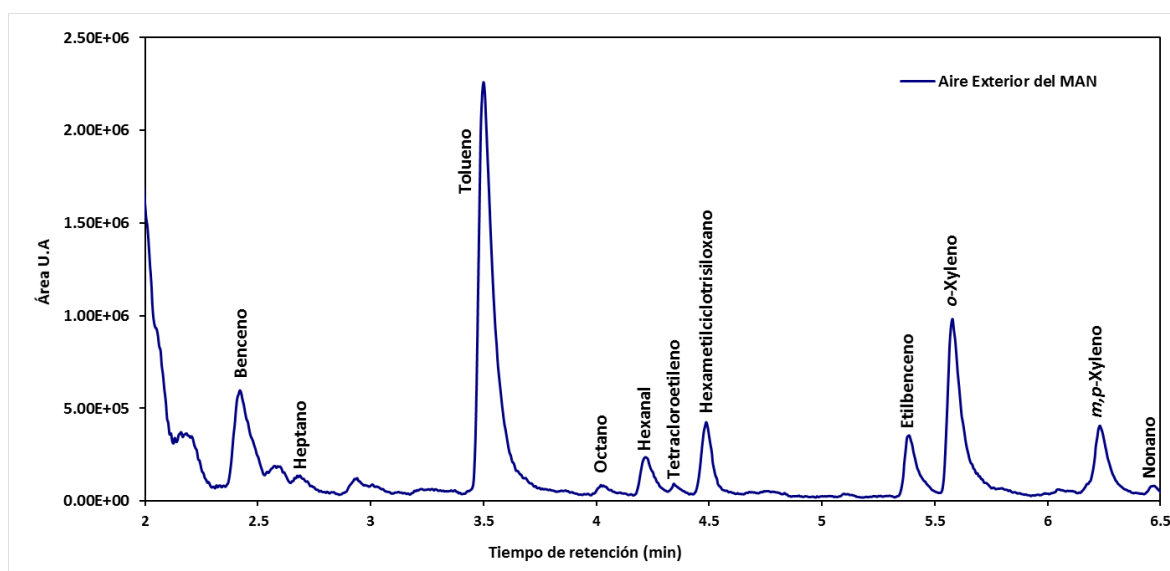


- Walgraeve C, Demeestere K, Dewulf J, Van Huffel K, Van Langenhove H (2011) Diffusive sampling of 25 volatile organic compounds in indoor air: Uptake rate determination and application in Flemish homes for the elderly. *Atmospheric Environment*. 45:5828-5836.
- Walgraeve C, Demeestere K, Dewulf J, Van Huffel K, Van Langenhove H (2011) Uptake rate behavior of tube-type passive samplers for volatile organic compounds under controlled atmospheric conditions. *Atmospheric Environment*. 45:5872-5879.
- Wang C, Xi J.Y, Hu H.Y, Yao Y (2009) Advantages of combined UV photodegradation and biofiltration processes to treat gaseous chlorobenzene. *J Hazard Mater* 171:1120-1125.
- Wang X.C, Yu J.C, Chen Y.L, Wu L, Fu X.Z (2006)  $\text{ZrO}_2$ -modified mesoporous nanocrystalline  $\text{TiO}_2\text{-xN}_x$  as efficient visible light photocatalysts. *Environ Sci Technol* 40:2369-2374.
- Watts S (2000) hydrogen sulphide levels in museums: What do they mean? In *Indoor Air Pollution: Detection and Prevention Held at Instituut Collectie Nederland, Amsterdam, The Netherlands, 26-27 August 1999: Presentation Abstracts and Additional Notes*, ed. A. W. Brokerhof and L. Gibson, 14-16. Amsterdam: Netherlands Institute for cultural Heritage.
- Weschler C.J (2000) Ozone in indoor environments: concentration and chemistry. *Indoor Air* 10:269-288.
- Williams J (2004) Organic Trace Gases in Atmosphere: An Overview. *Environmental Chemistry*. 1:125-136.
- Wuithier, P. (1971). El petróleo. Refino y Trámiento químico. Tomo I. Ediciones CEPESA, S.A. p. 15. ISBN 978-84-400-6027-3
- Yoo M.H, Kwon Y.J, Son K.C, Kays S.J (2006) Efficacy of indoor plants for the removal of single and mixed volatile organic pollutants and physiological effects of the volatile on the plants. *J Am Soc Hortic Sci* 131(4):452-458.
- Zaatari M, Nirlo E, Jareemit D, Crain N, Srebric J, Siegel J, (2014) Ventilation and indoor air quality in retail stores: a critical review (RP-1596). *HVAC&R Res* 20:276-294.
- Zabiegala B (2006) Organic compounds in indoor environments. *Polish. J. Environ. Stud*. 15:383-393.
- Zhang Y, Moa J, Li Y, Sundell J, Wargocki P, Zhang J et al (2011) Can commonly-used fan-driven air cleaning technologies improve indoor air quality? A literature review. *Atmos Environ* 45:4329-4343.
- Zhao P, Siegel J.A, Corsi R.L (2007) Ozone removal by HVAC filters. *Atmos Environ* 41(15):3151-3160.
- Zhao W, Yang Y, Dai J, Liu F, Wang Y (2013) VUV photolysis of naphthalene in indoor air: intermediates, pathways, and health risk. *Chemosphere* 91:1002-1008.

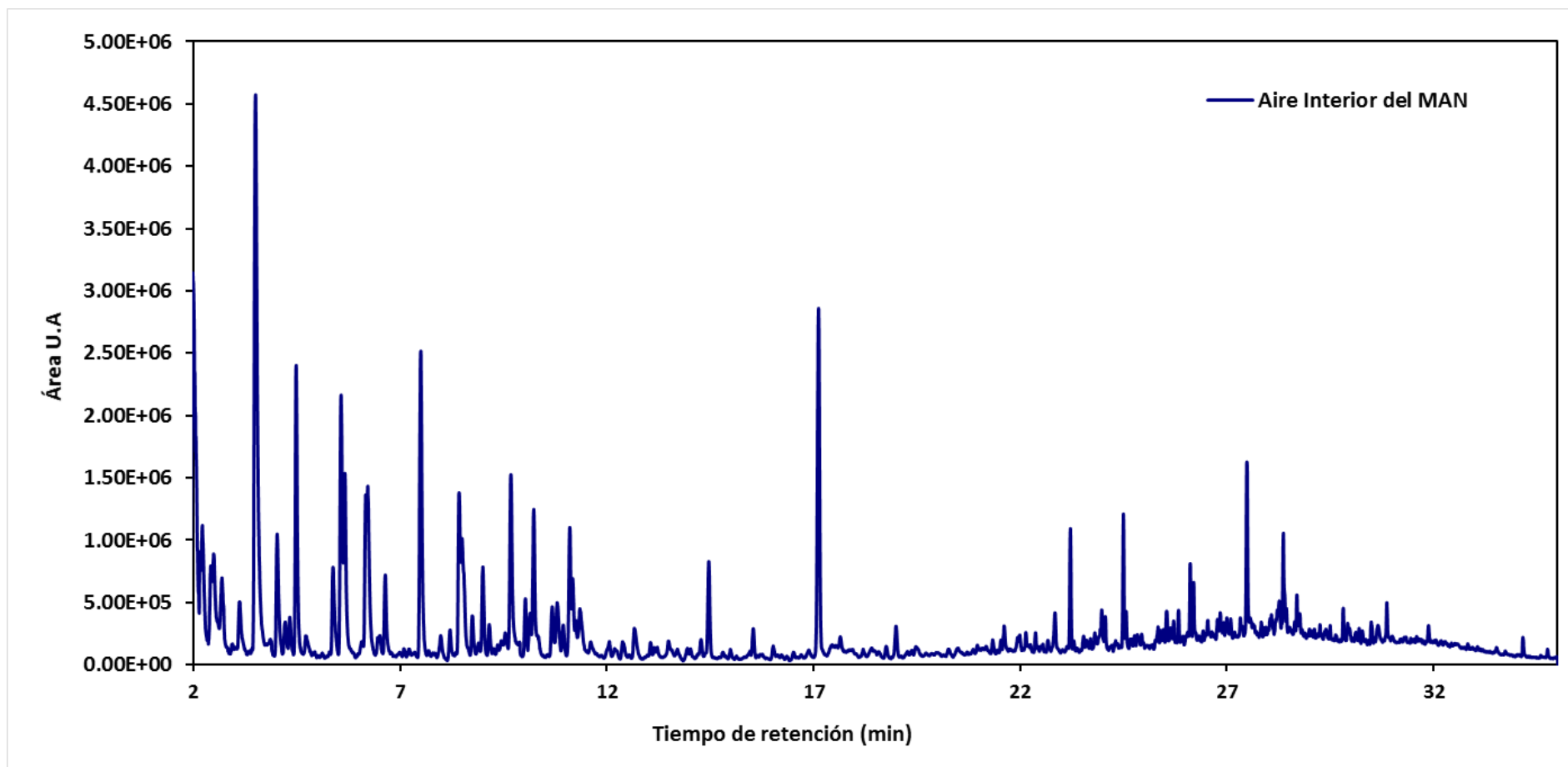
# ANEXOS I: EJEMPLOS DE MUESTRAS DE AIRE DE DISTINTOS AMBIENTES

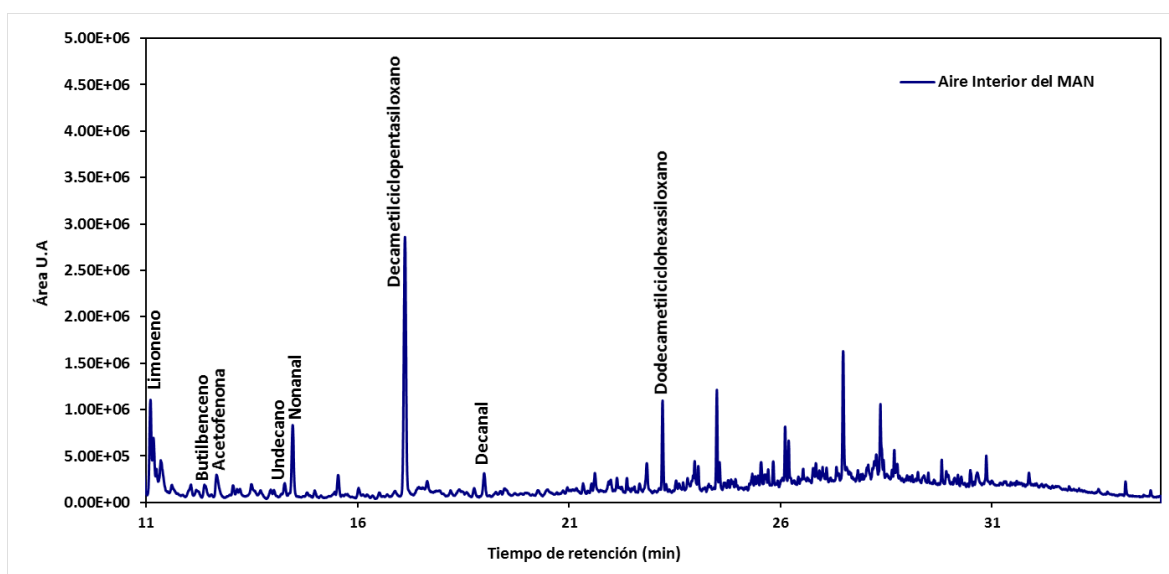
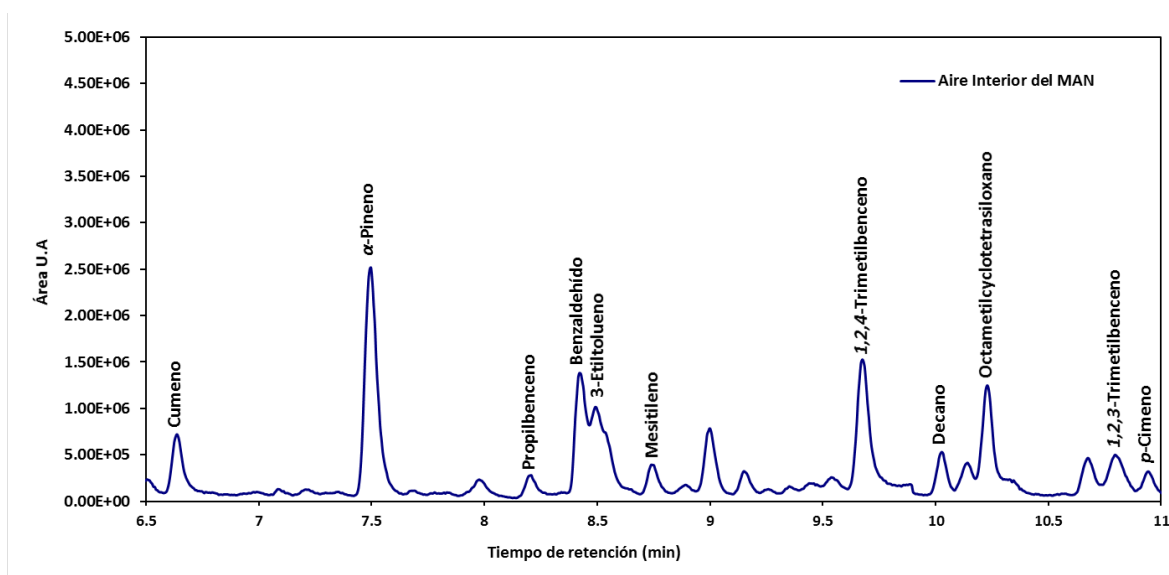
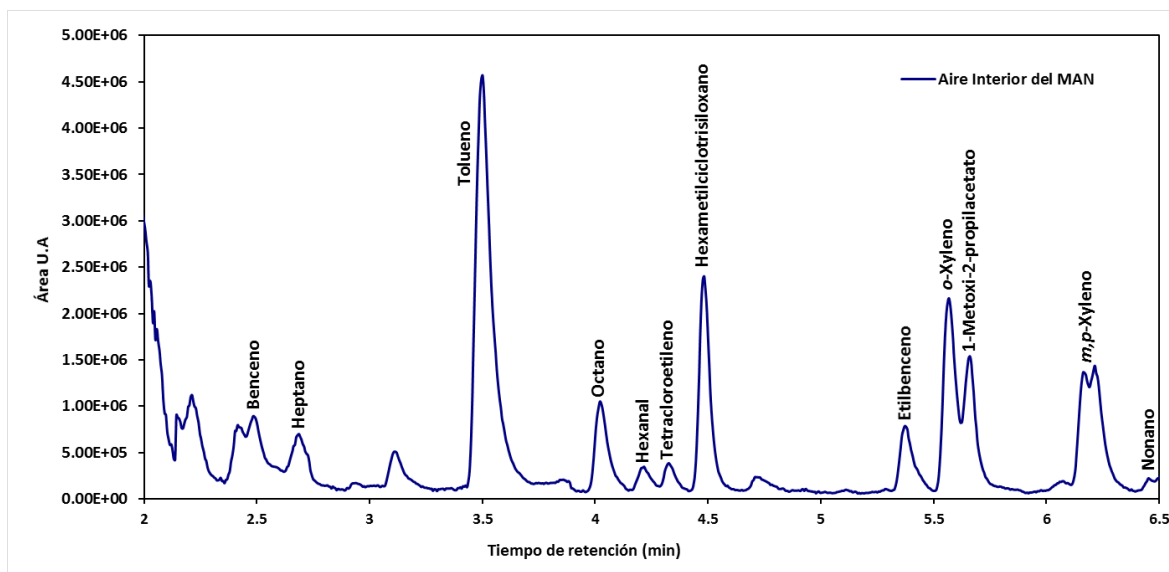
Ejemplo de una muestra de aire exterior analizada mediante ADT-GC-MS: Cromatograma completo para todo el tiempo de análisis y separado por intervalos de tiempo. Señalizados los VOCs calibrados para este trabajo de tesis doctoral.



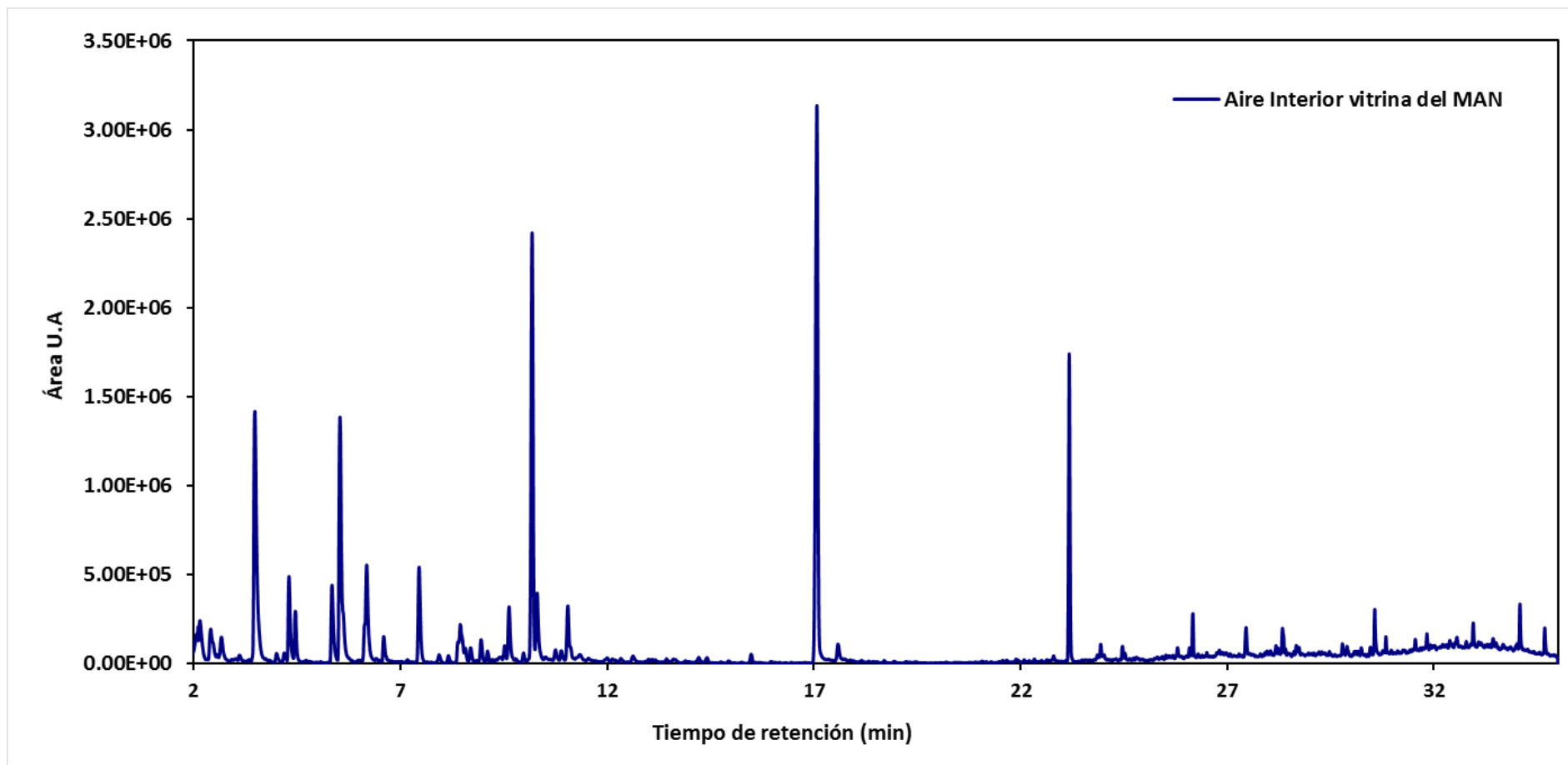


Ejemplo de una muestra de aire interior analizada mediante ADT-GC-MS: Cromatograma completo para todo el tiempo de análisis y separado por intervalos de tiempo. Señalizados los VOCs calibrados para este trabajo de tesis doctoral.

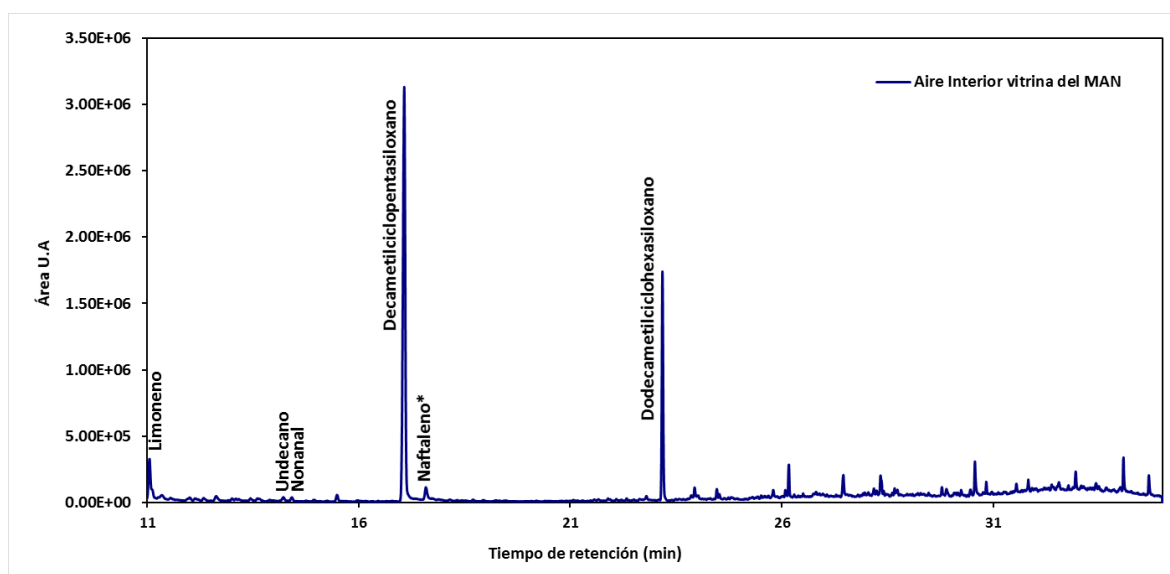
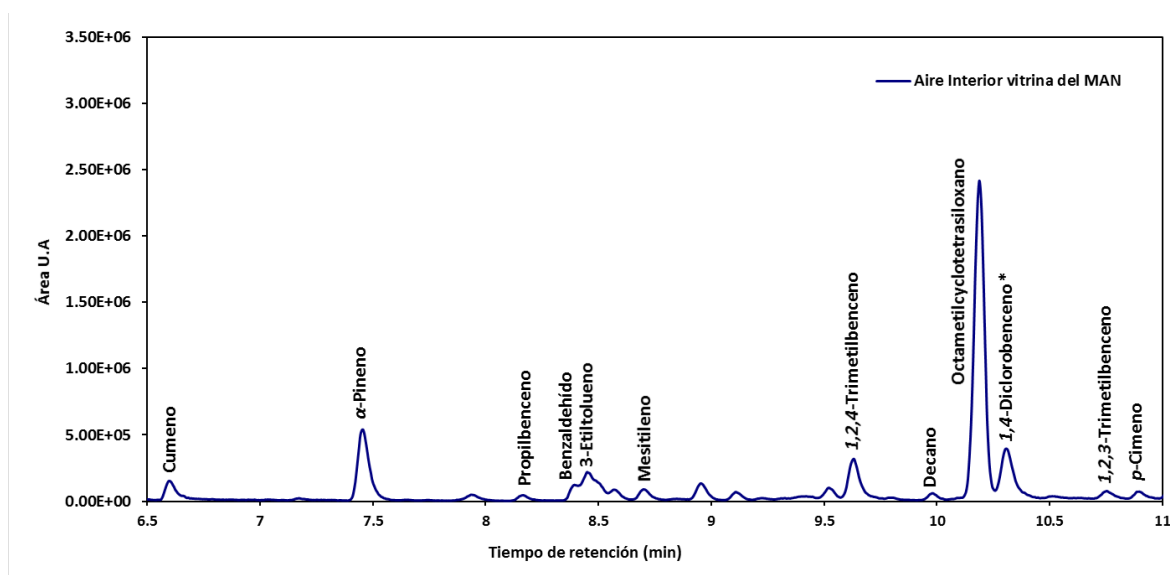
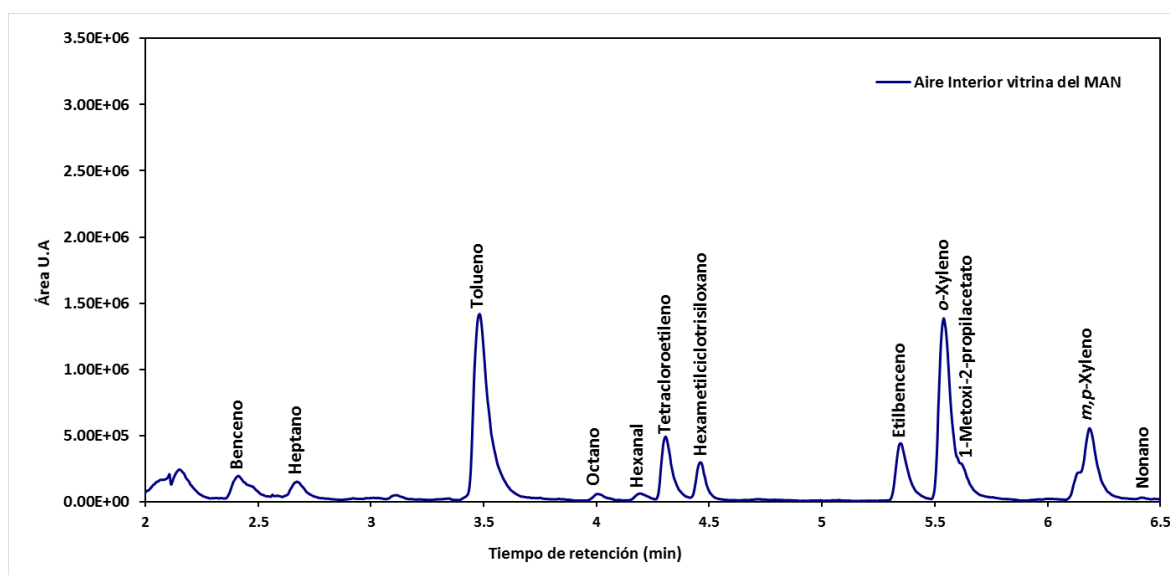




Ejemplo de una muestra de aire interior del ambiente de una vitrina analizada mediante ADT-GC-MS: Cromatograma completo para todo el tiempo de análisis y separado por intervalos de tiempo. Señalizados los VOCs calibrados para este trabajo de tesis doctoral. Esta muestra corresponde a los trabajos de traslado de la momia Guanche (*Vilanova et al., 2016*), el \* señala dos compuestos de interés encontrados para este trabajo específico.

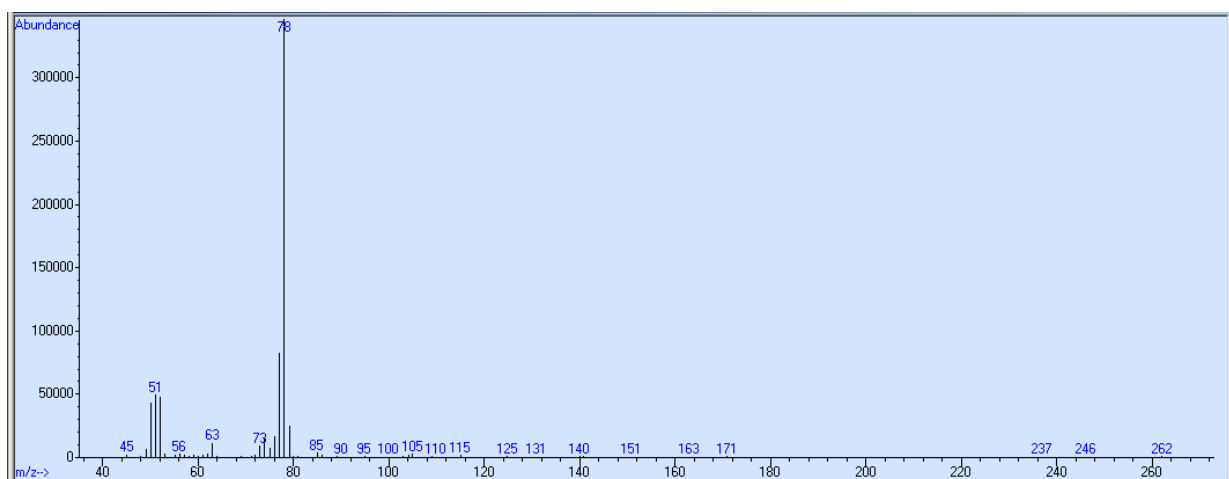




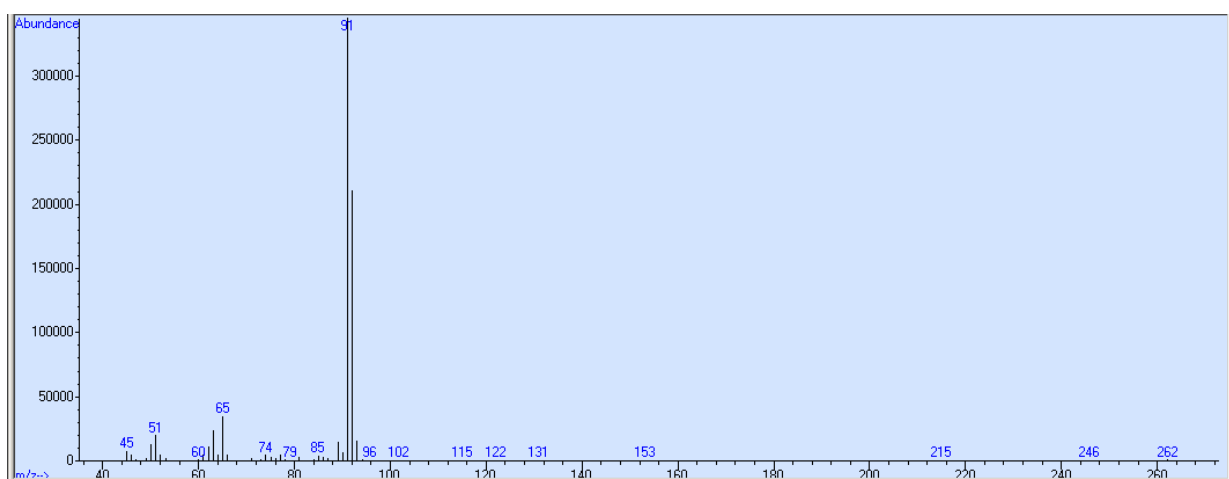


## ANEXOS II: ESPECTROS DE MASAS

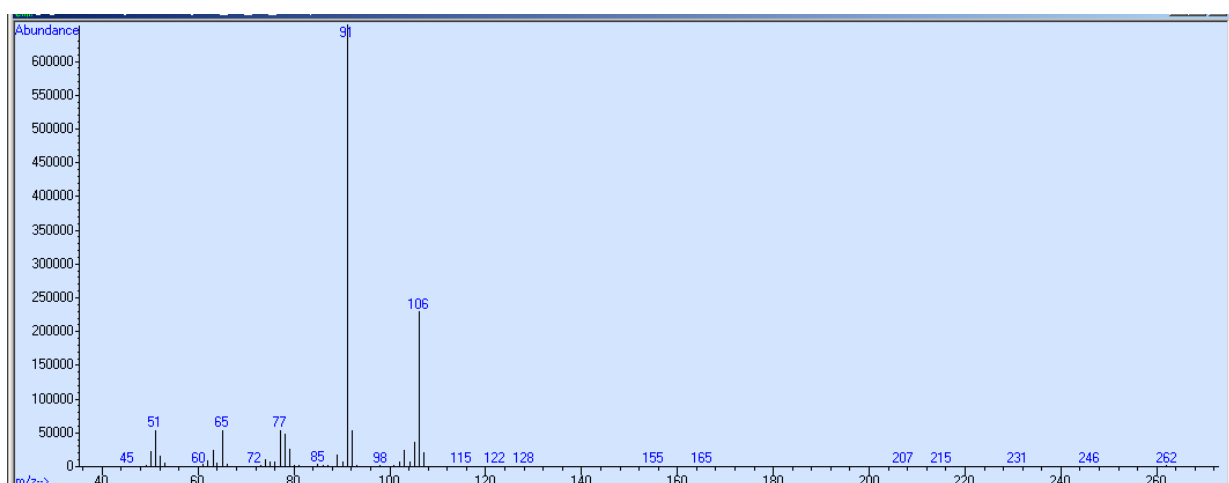
Benceno



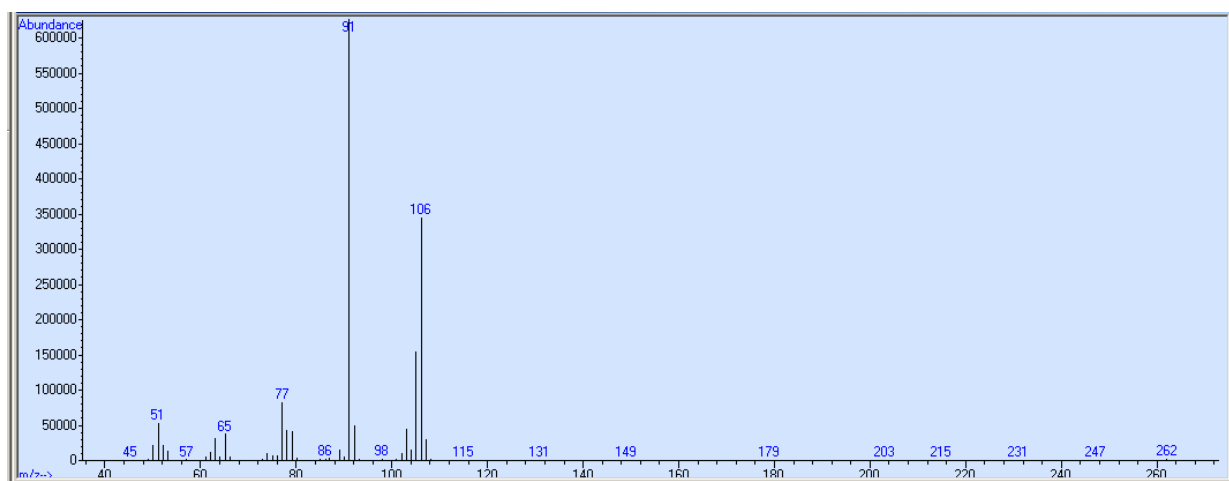
Tolueno



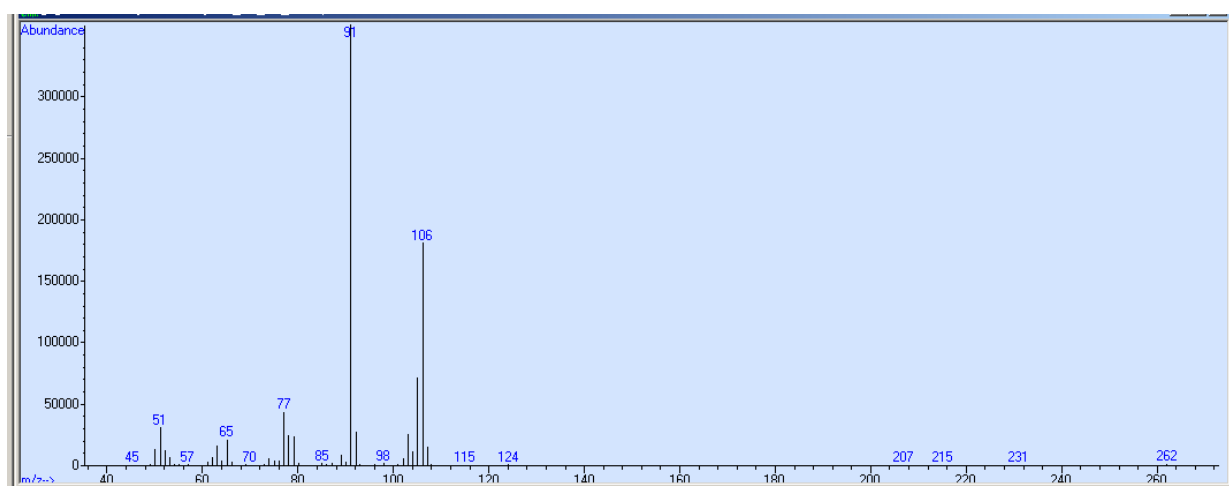
Etilbenceno



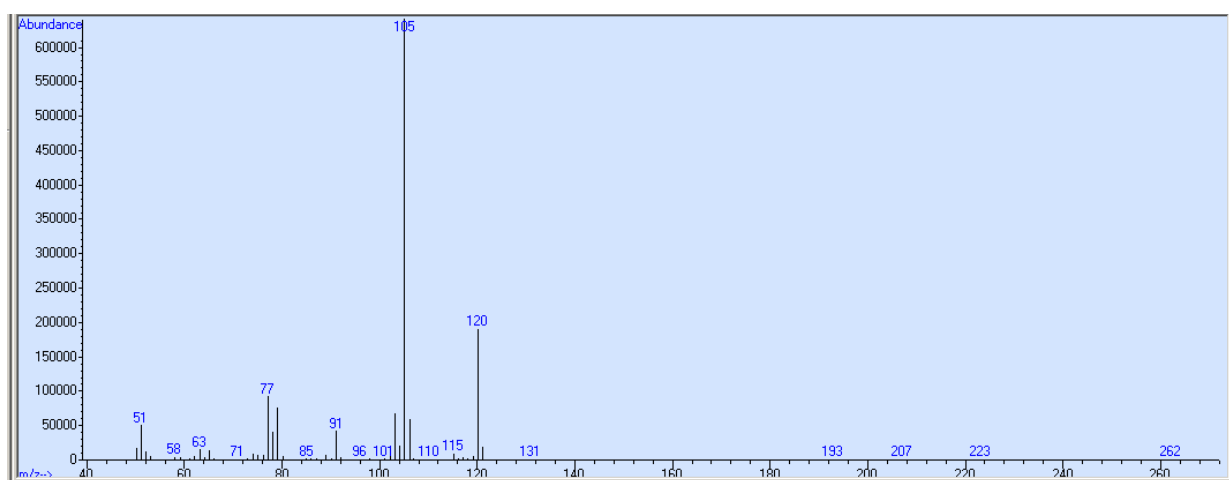
*o*-Xyleno



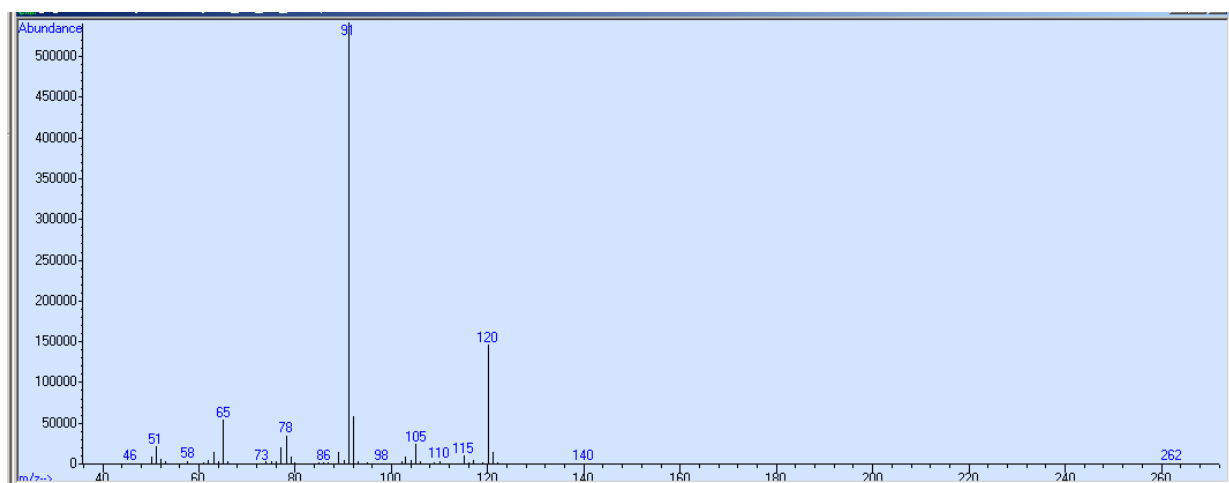
*m*-Xyleno/*p*-Xyleno



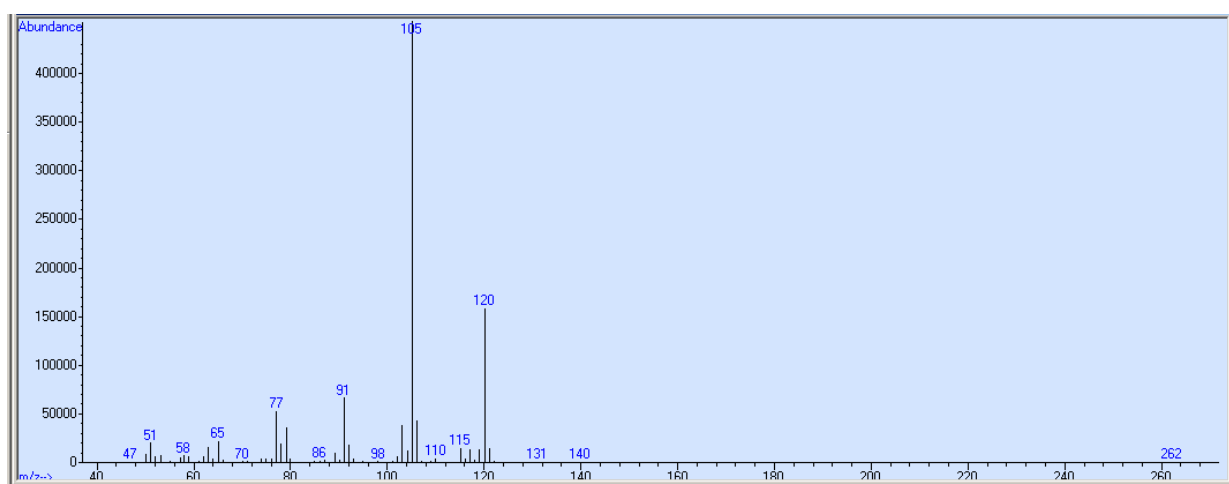
Cumeno



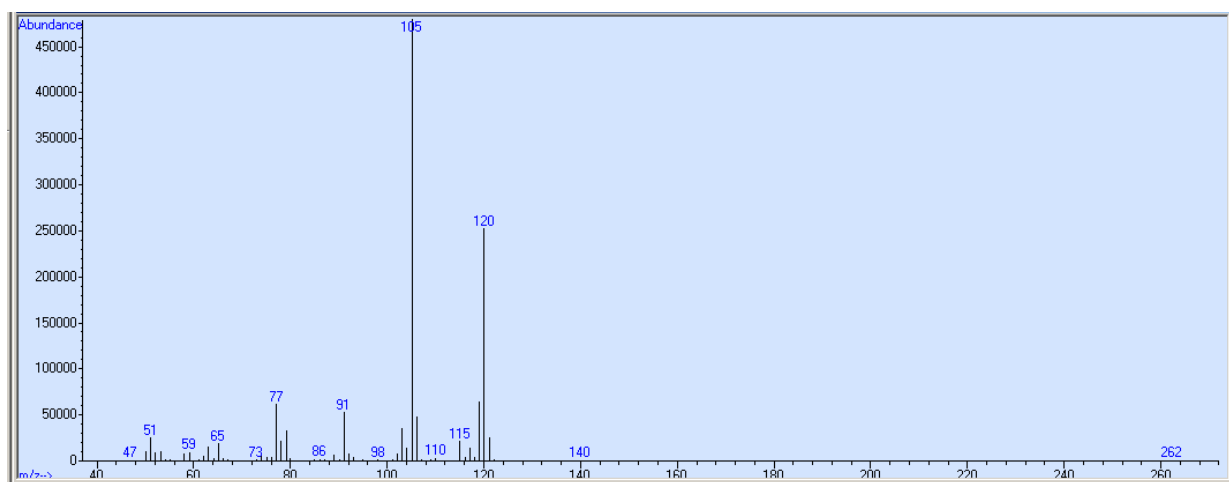
*n*-Propilbenceno



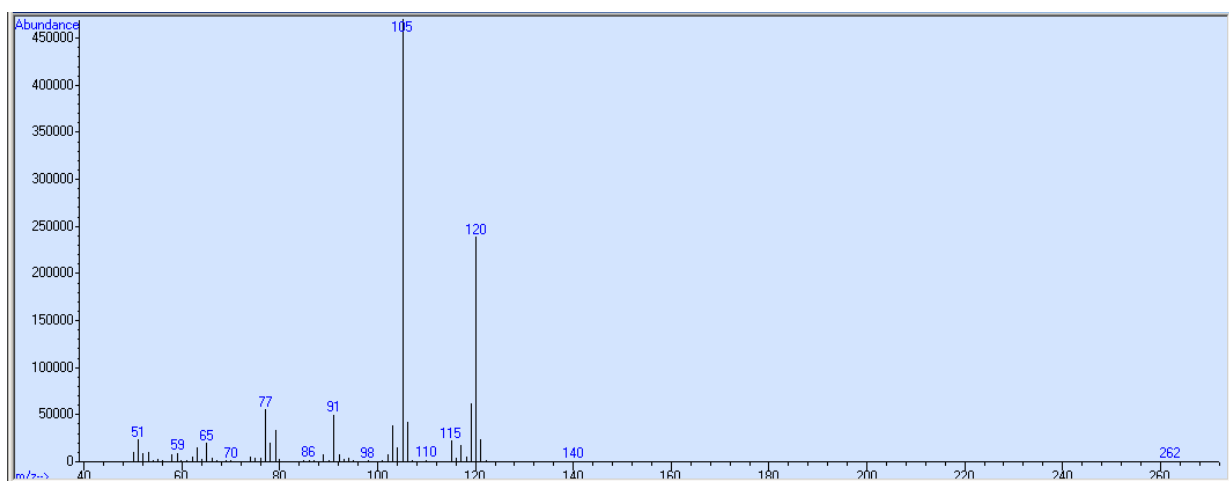
3-Etiltolueno



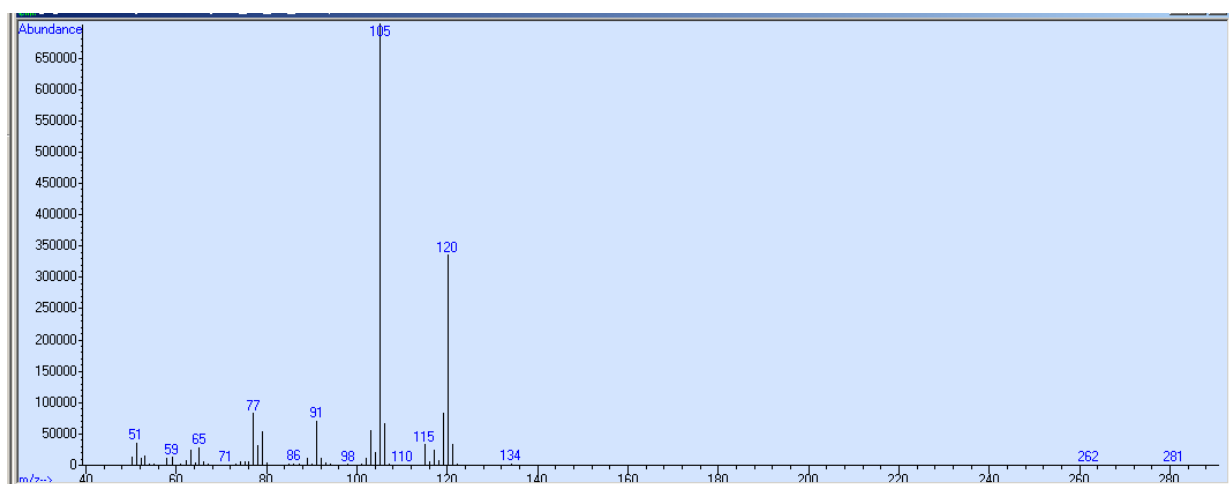
Mesitileno



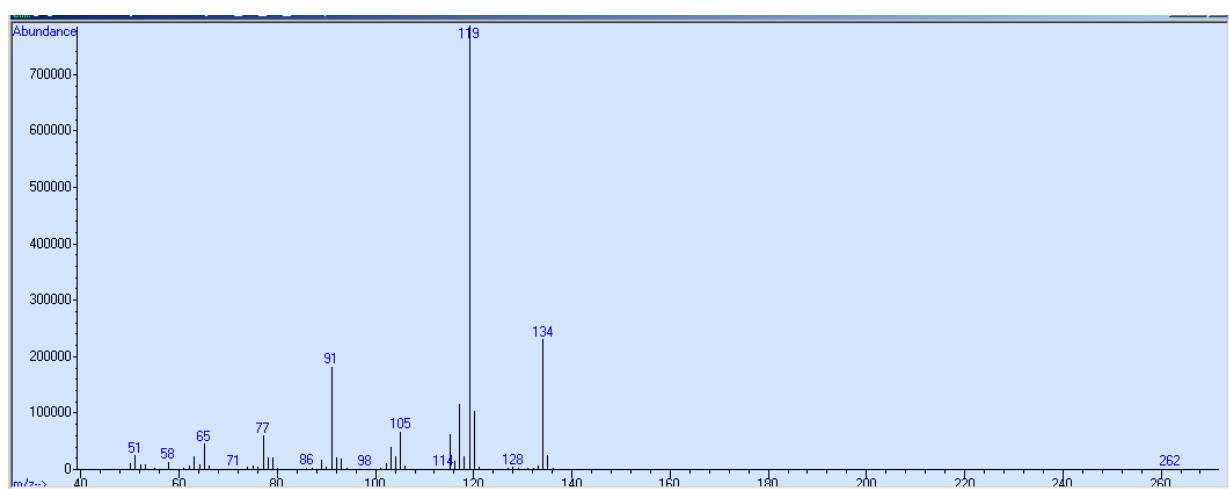
1,2,4-Trimetilbenceno



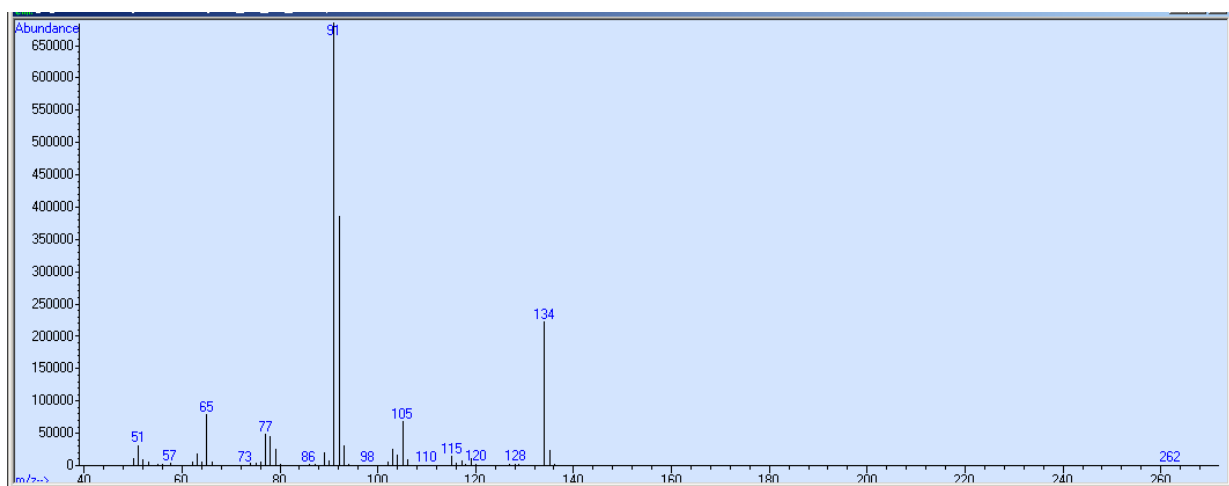
1,2,3-Trimetilbenceno



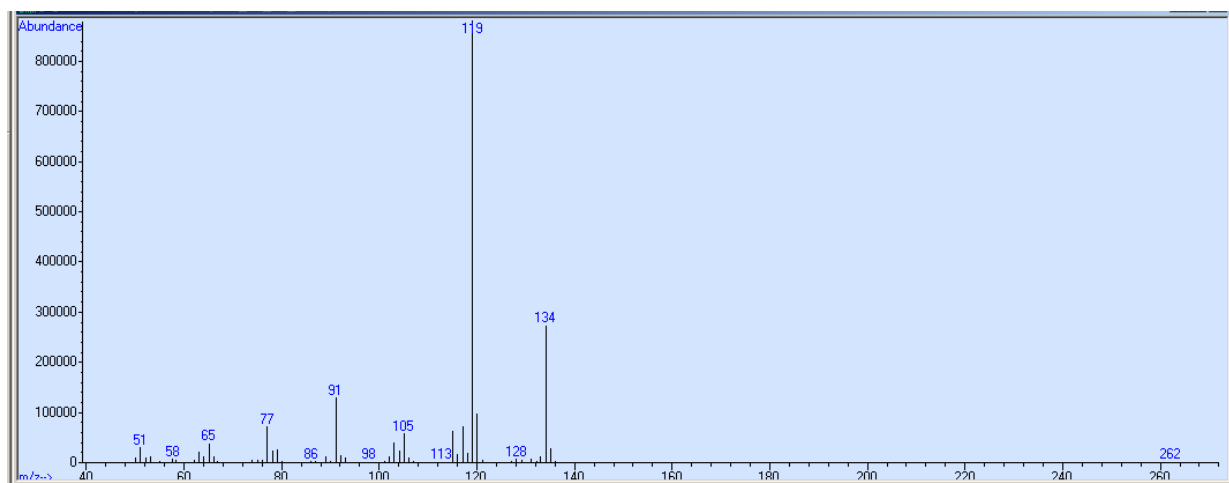
*p*-Cimeno



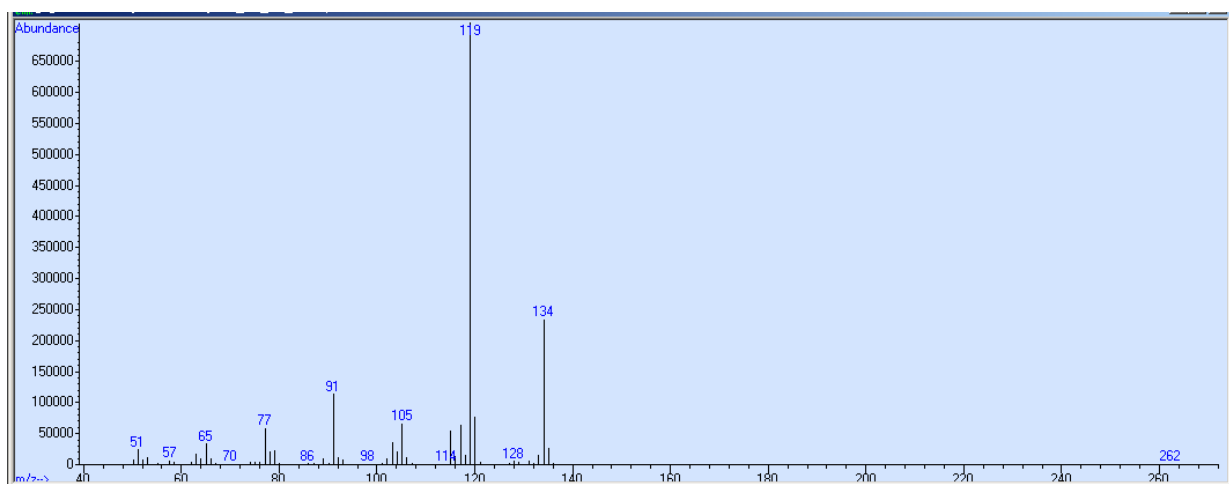
### *n*-Butilbenceno



### 4-Etil-*m*-Xyleno

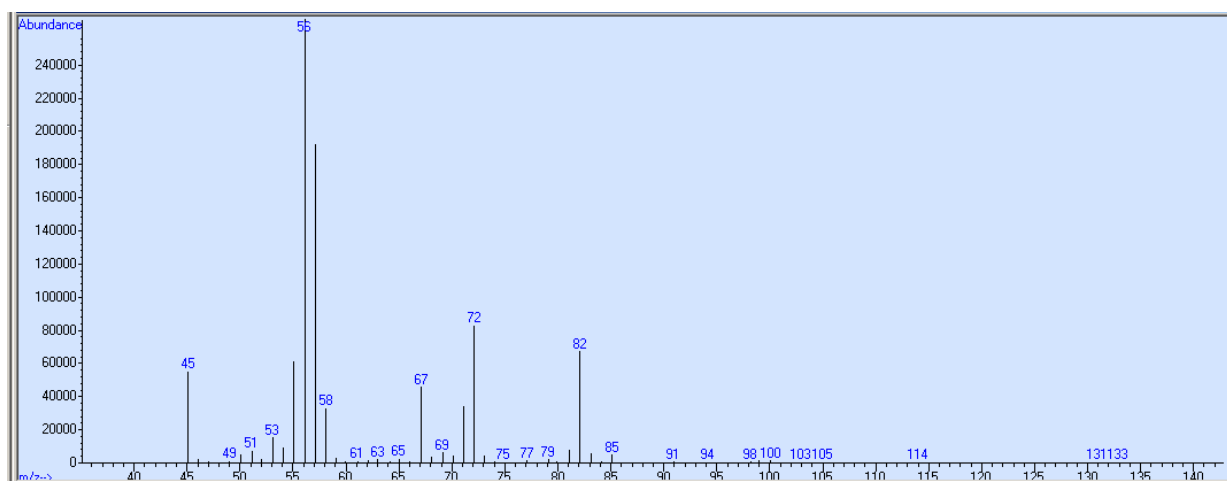


### 4-Etil-*o*-Xyleno

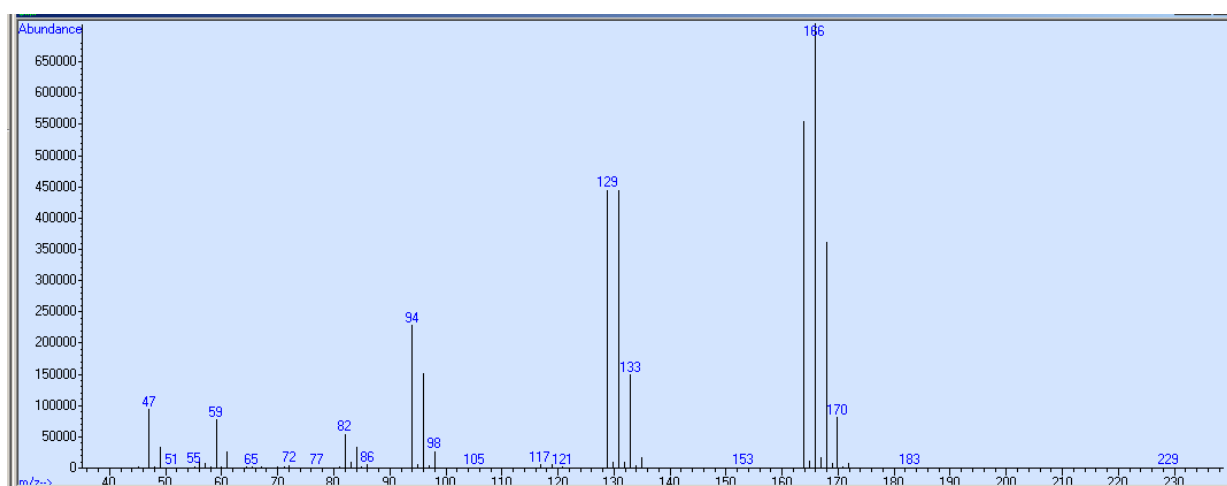




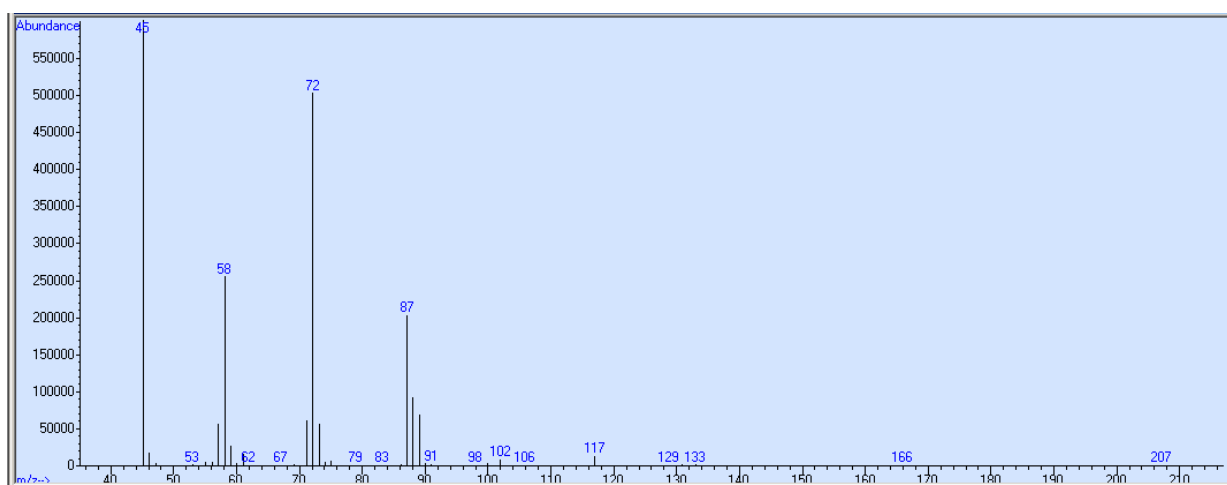
Hexanal



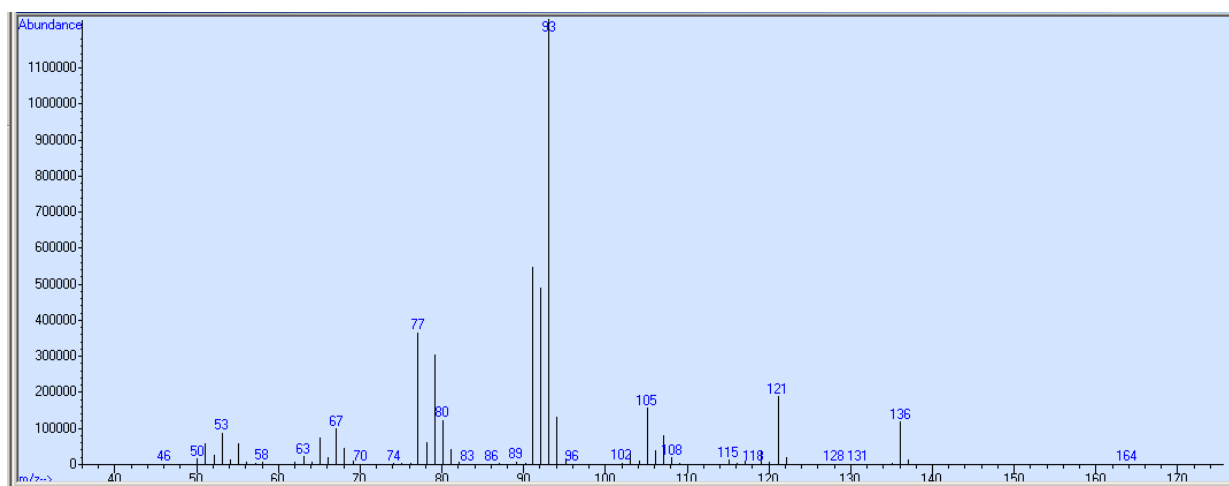
Tetracloroetileno



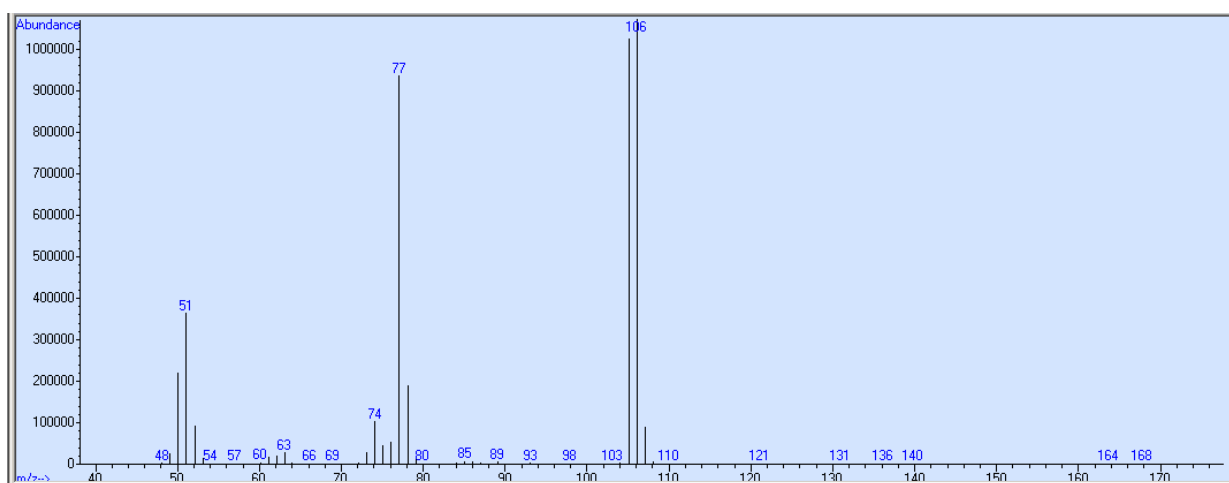
1-Metoxi-2-propilacetato



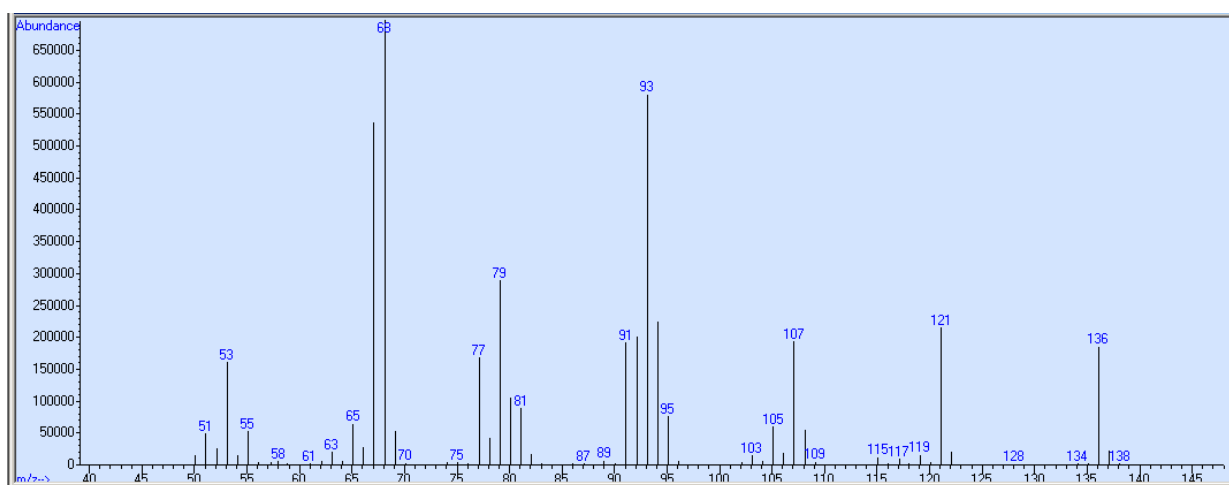
$\alpha$ -Pineno



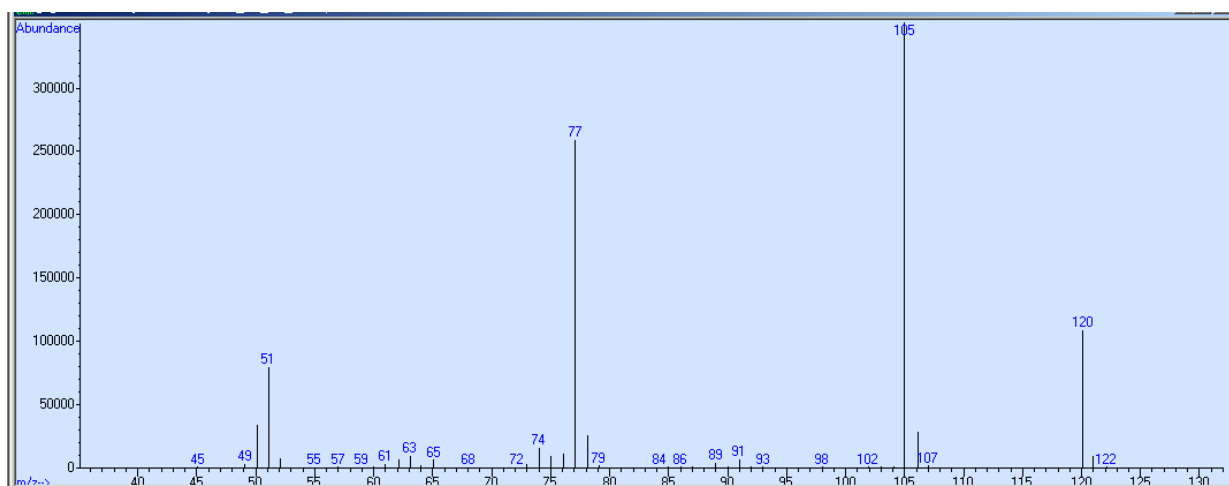
Benzaldehído



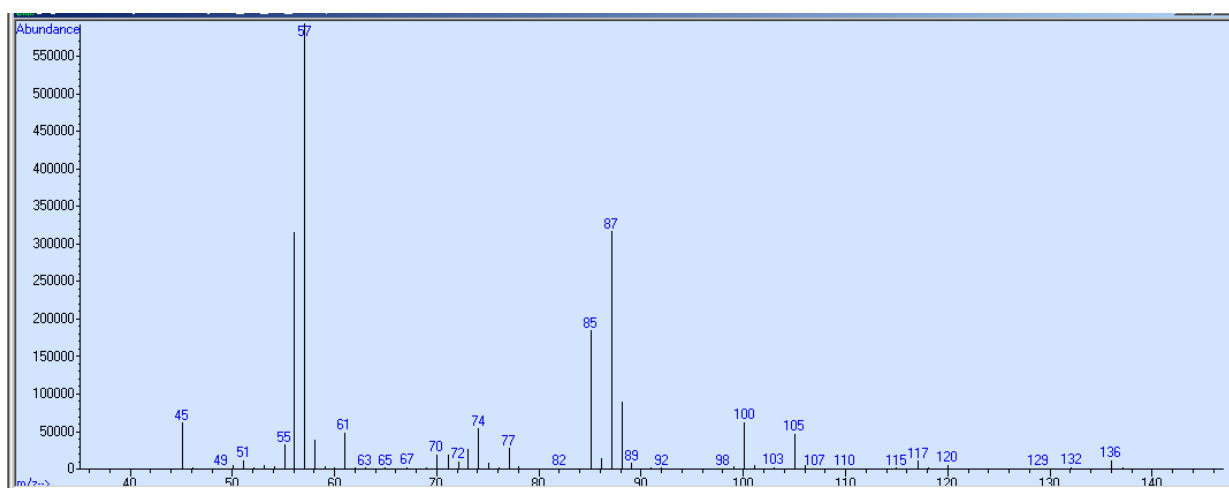
$\alpha$ -Limoneno



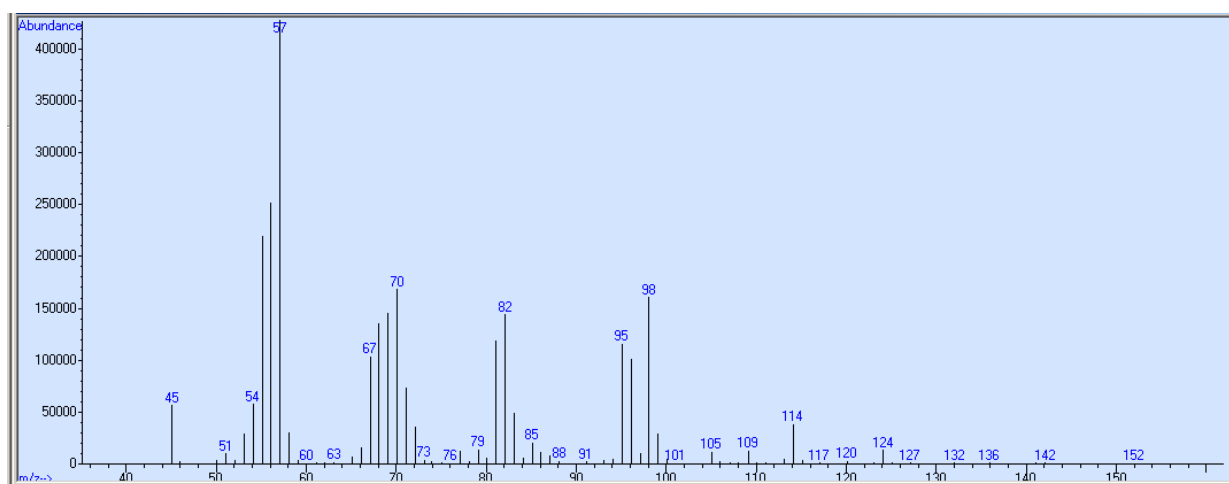
Acetofenona



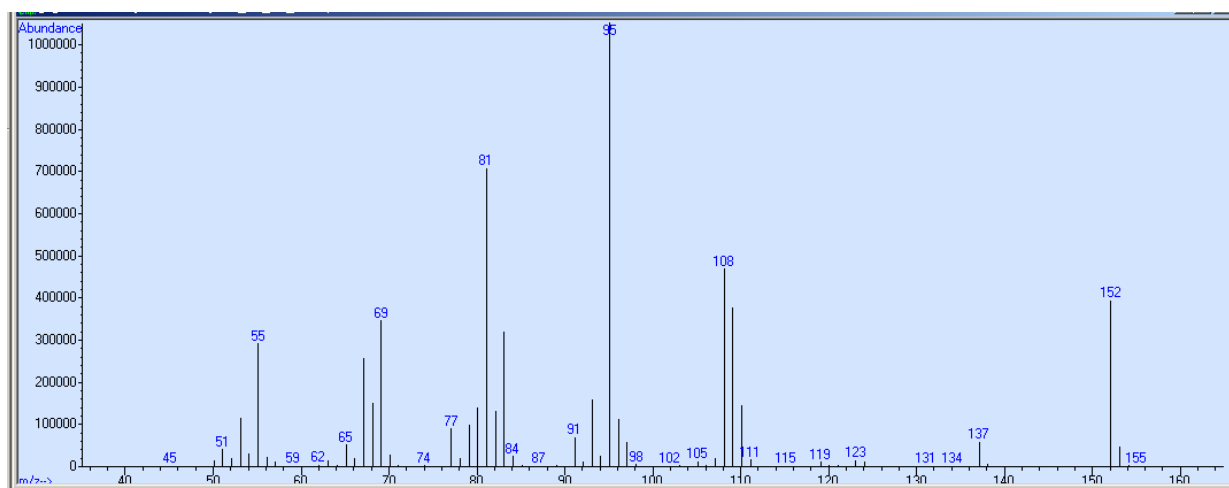
2-Butoxietilacetato



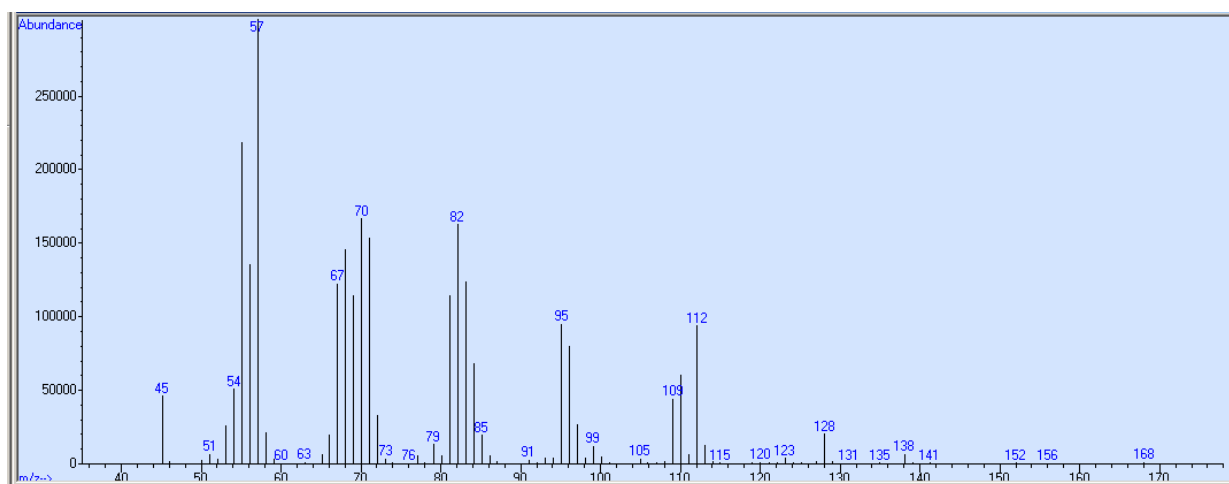
Nonanal



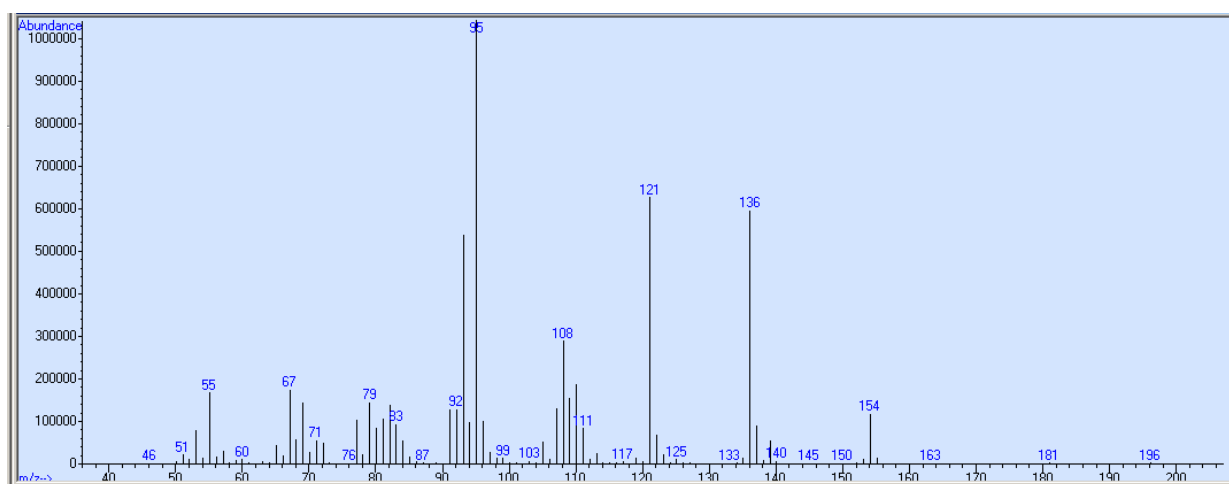
Alcanfor



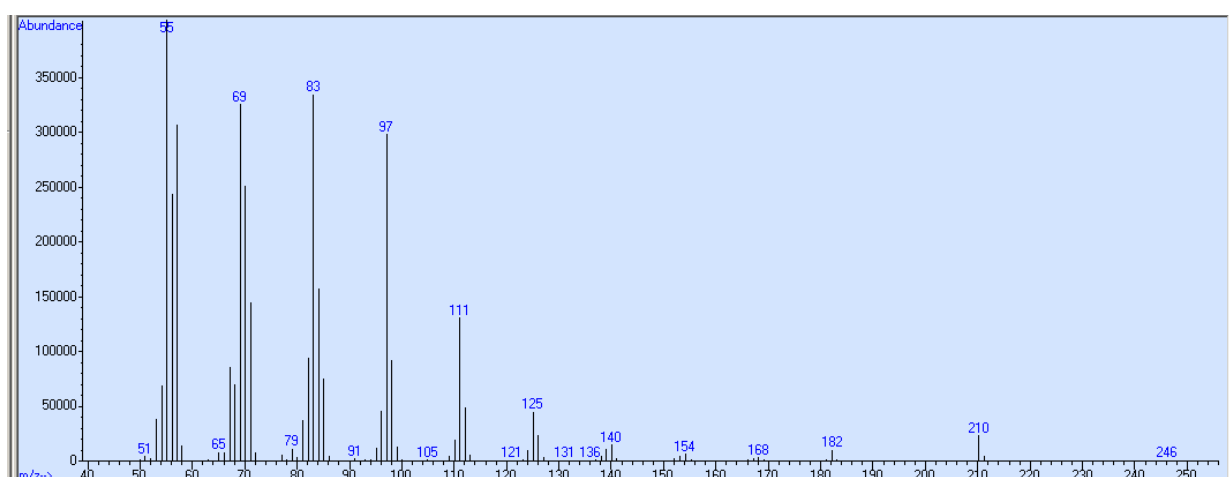
Decanal



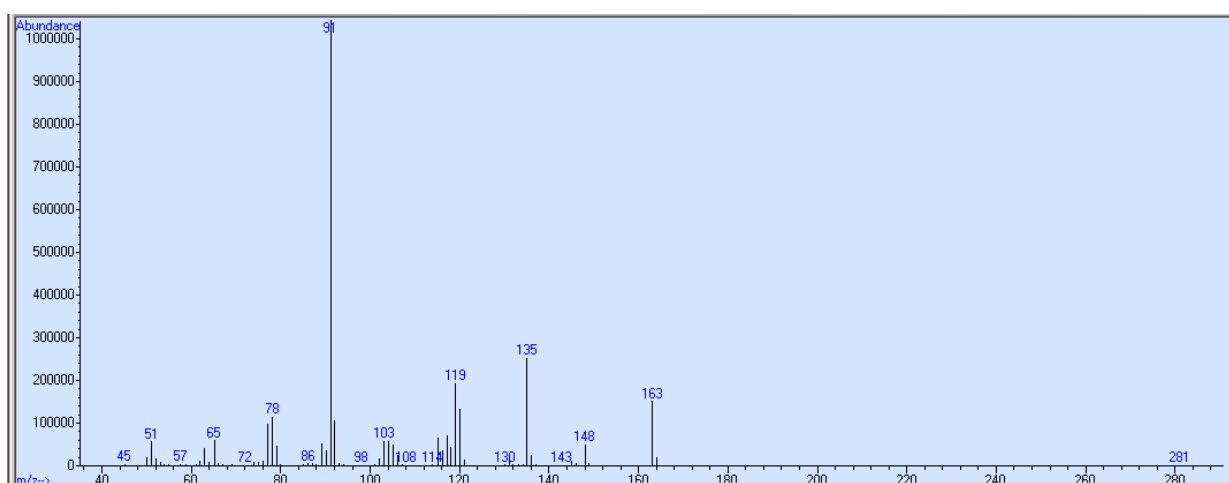
Isobornilacetato



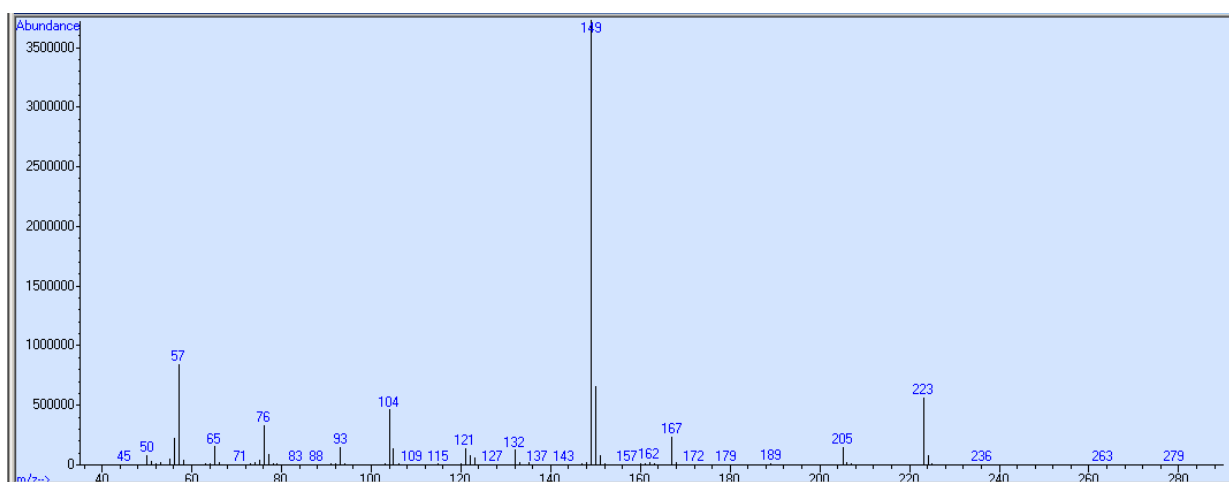
### 1-Pentadeceno



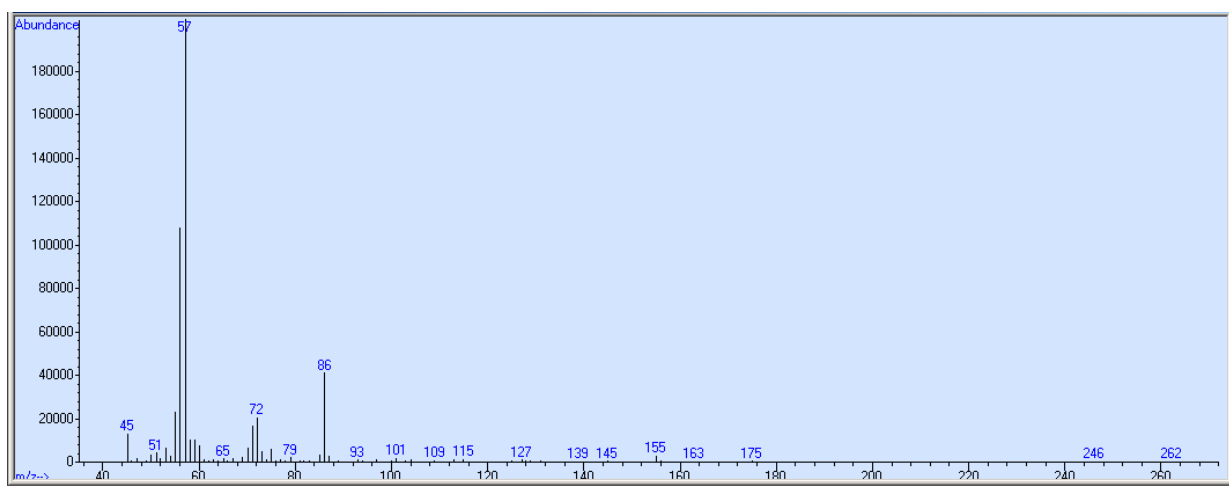
### 2-Fenilbutiramida



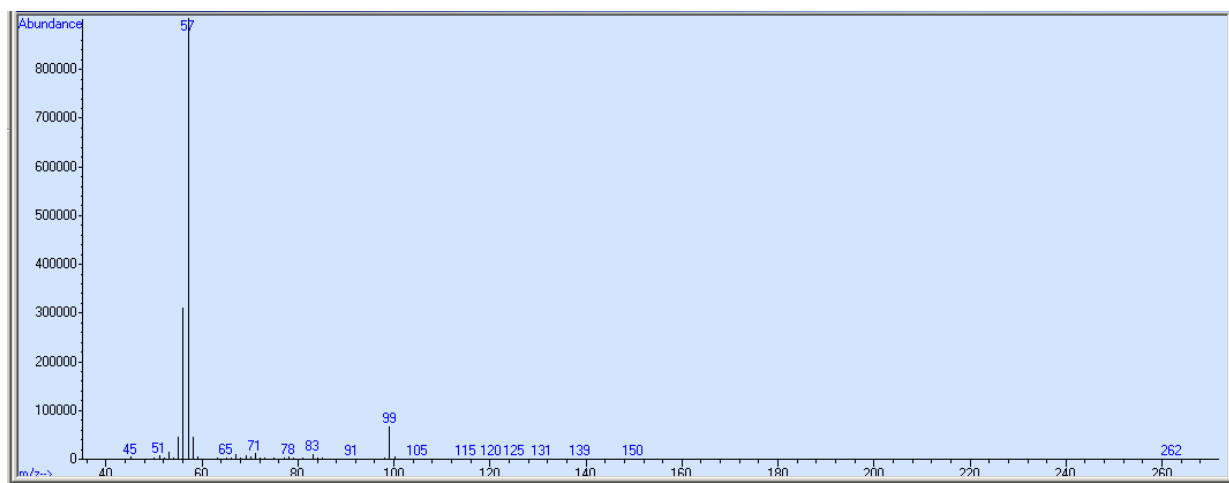
### Diisobutilftalato



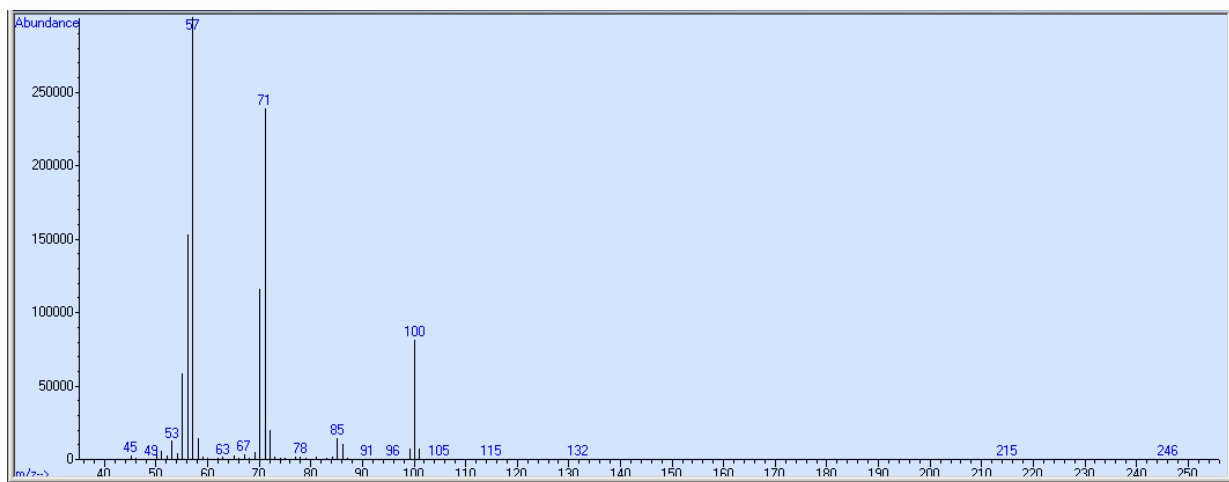
*n*-Hexano



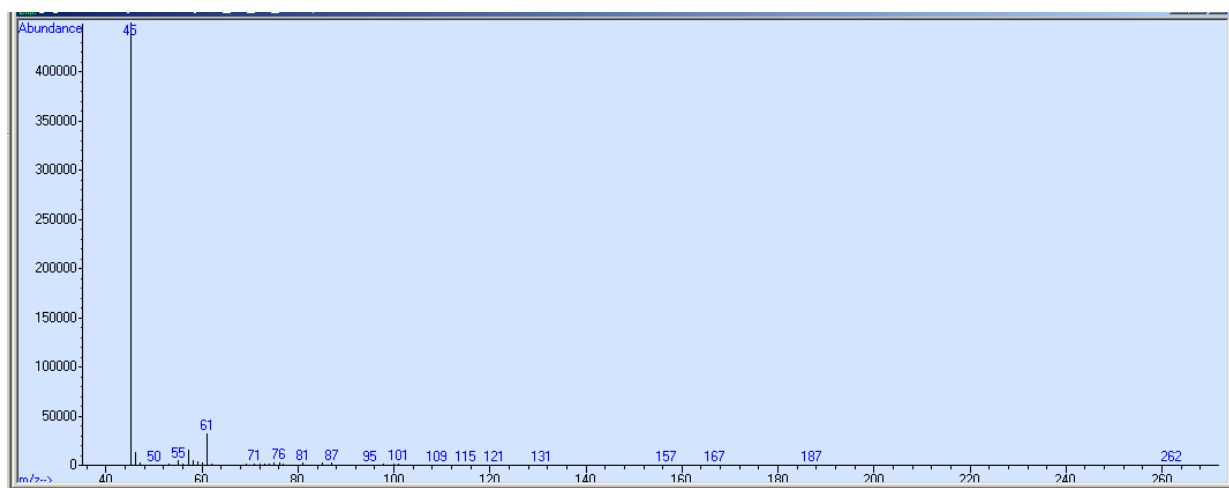
2,2,4-Trimetilpentano



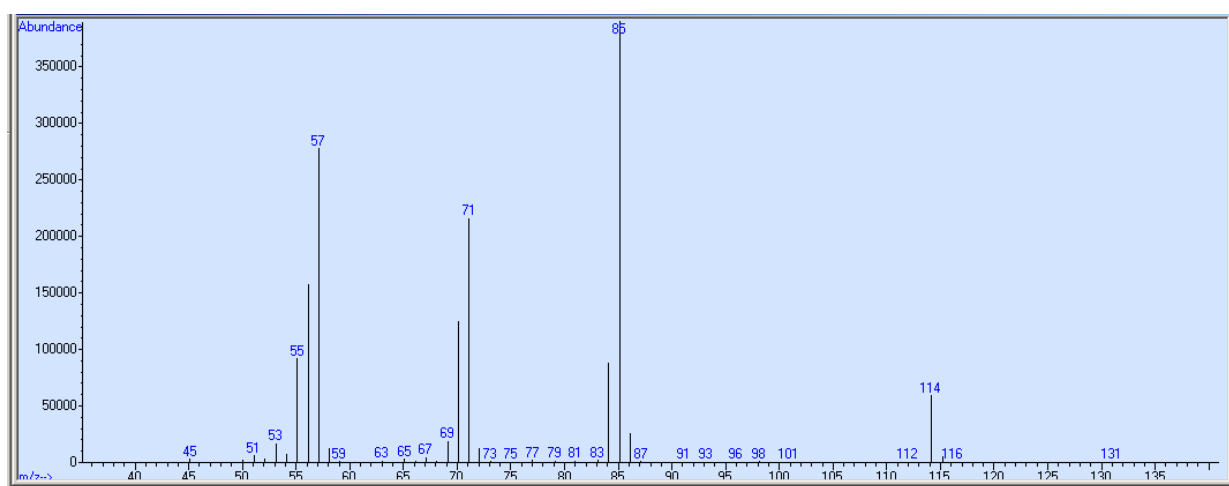
*n*-Heptano



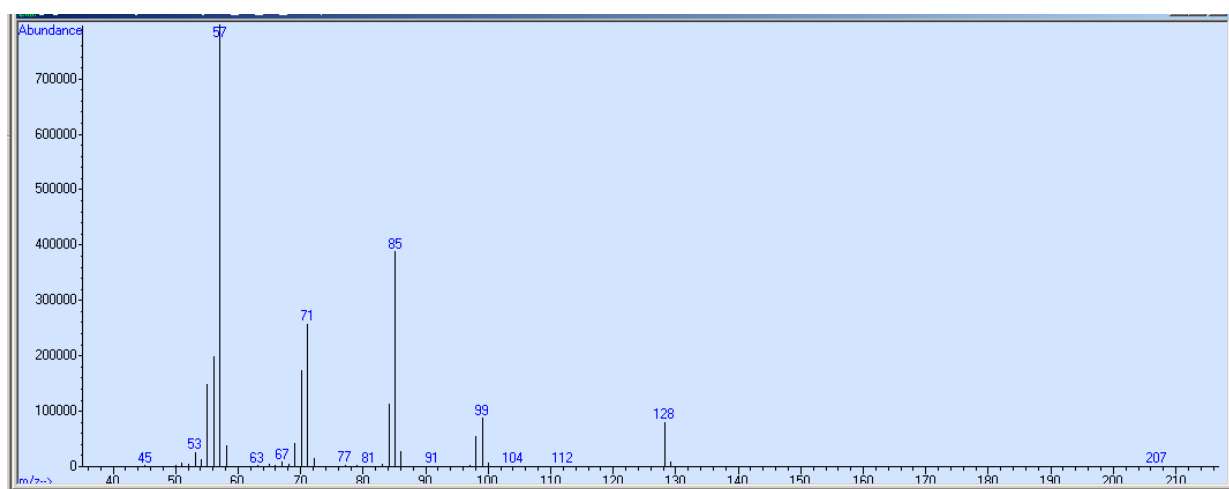
1,2-Propanodiol



n-Octano

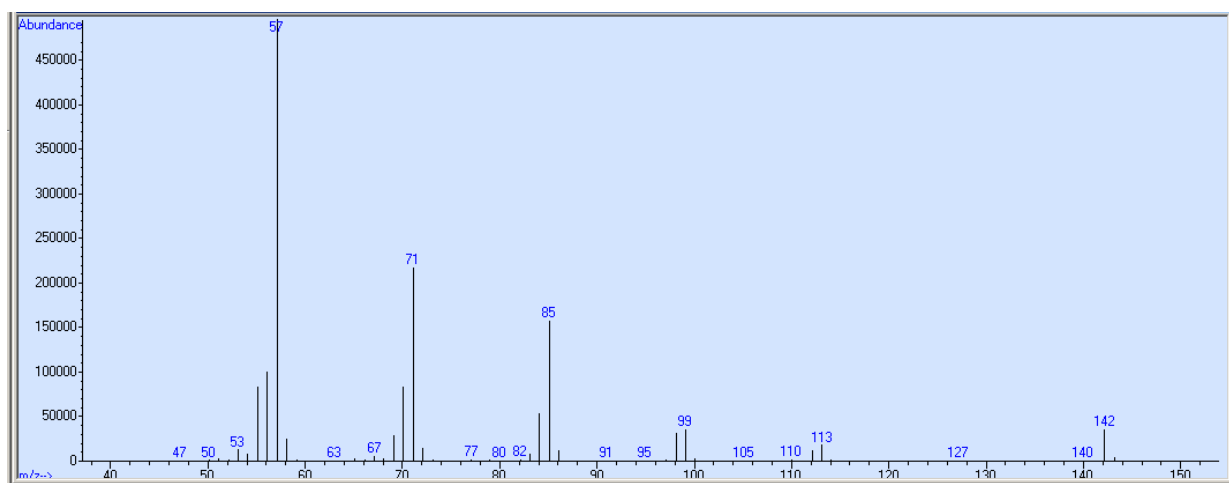


n-Nonano

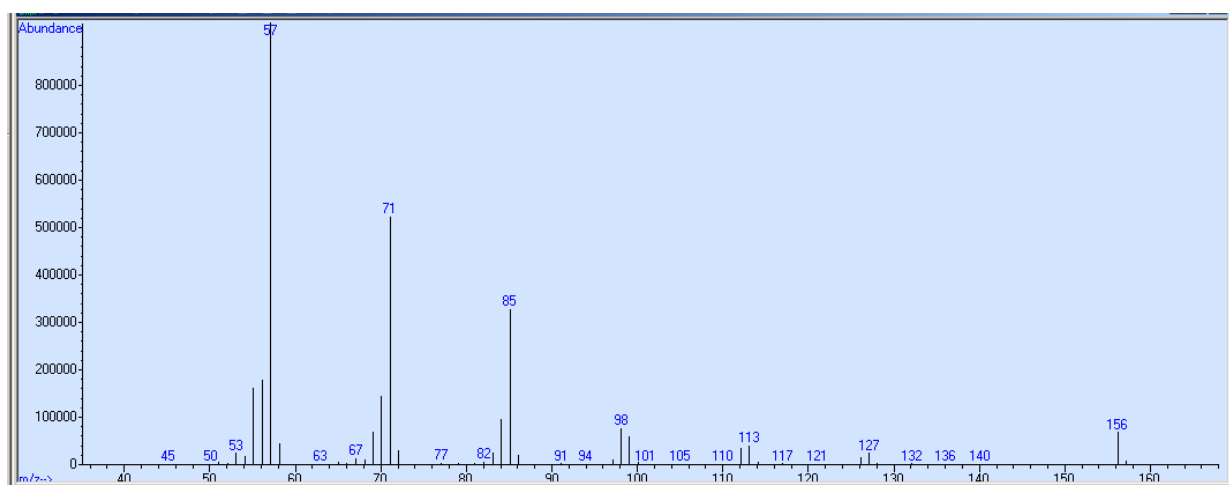




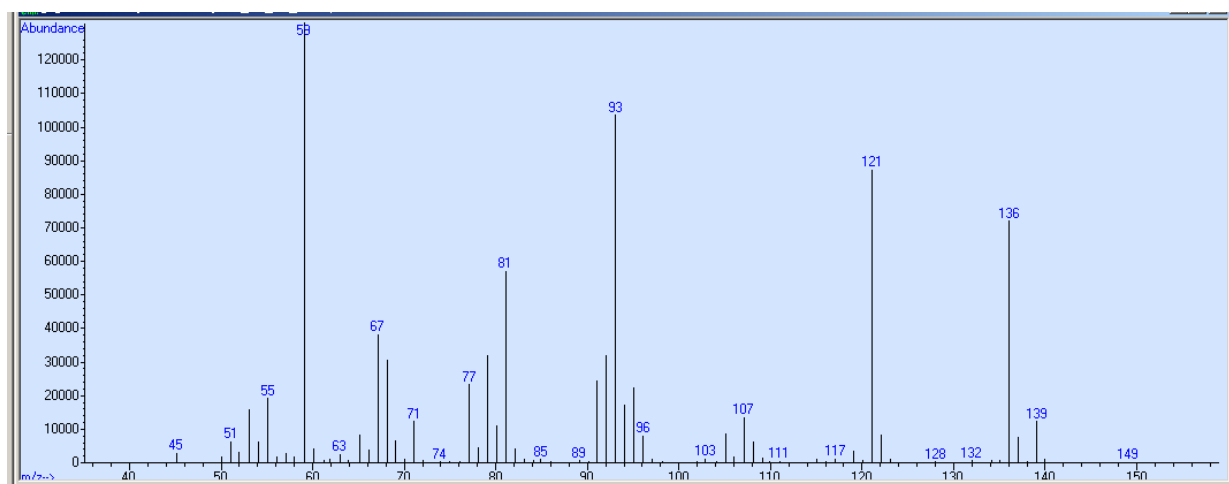
*n*-Decano



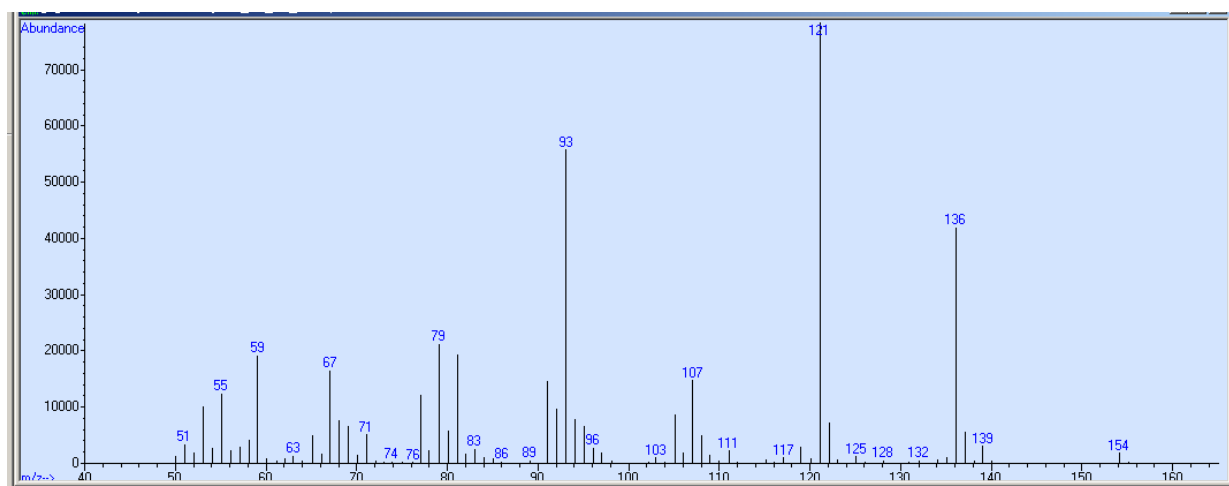
*n*-Undecano



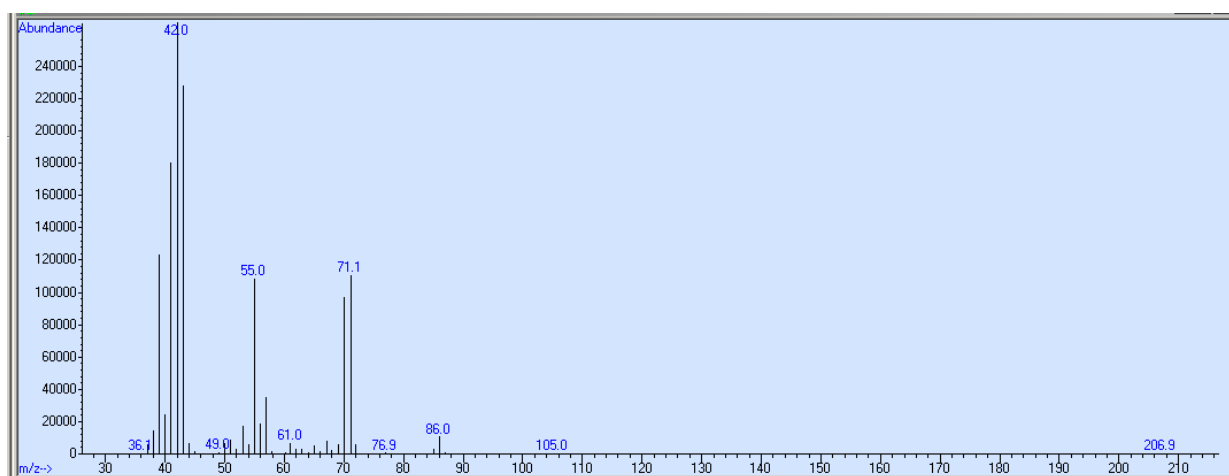
6-Terpineol



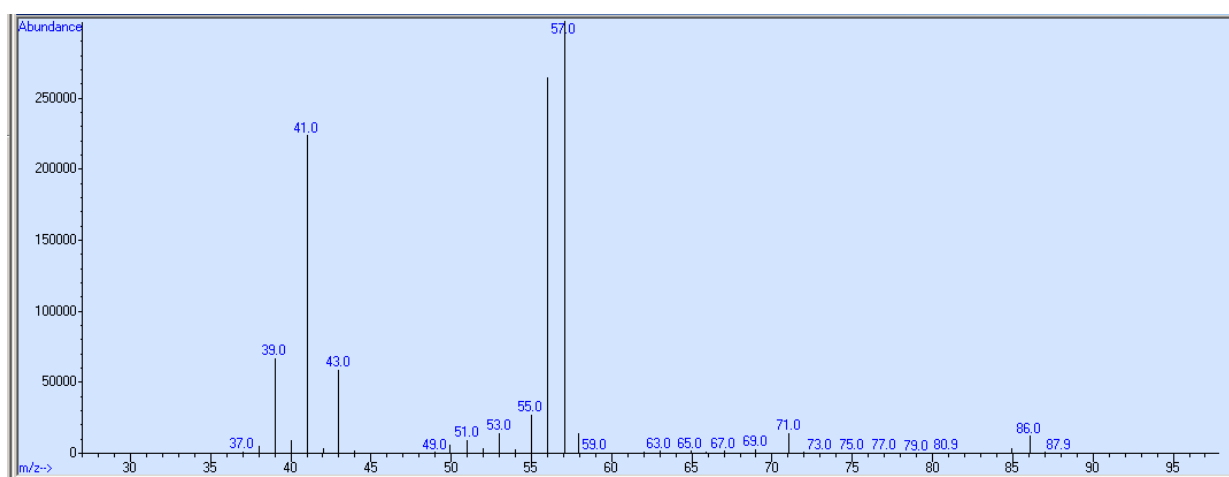
$\alpha$ -Terpineol



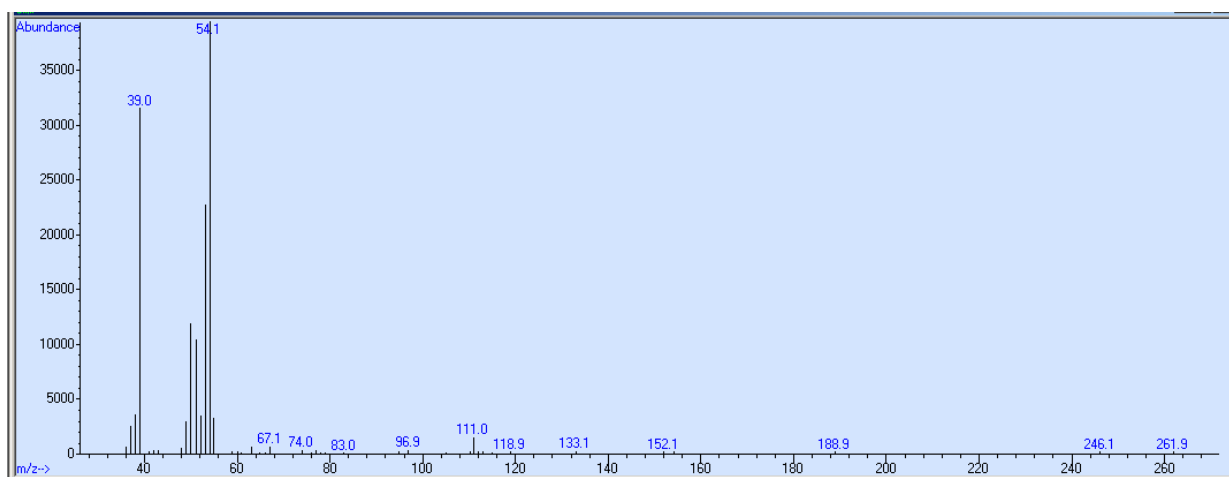
2-Metilpentano



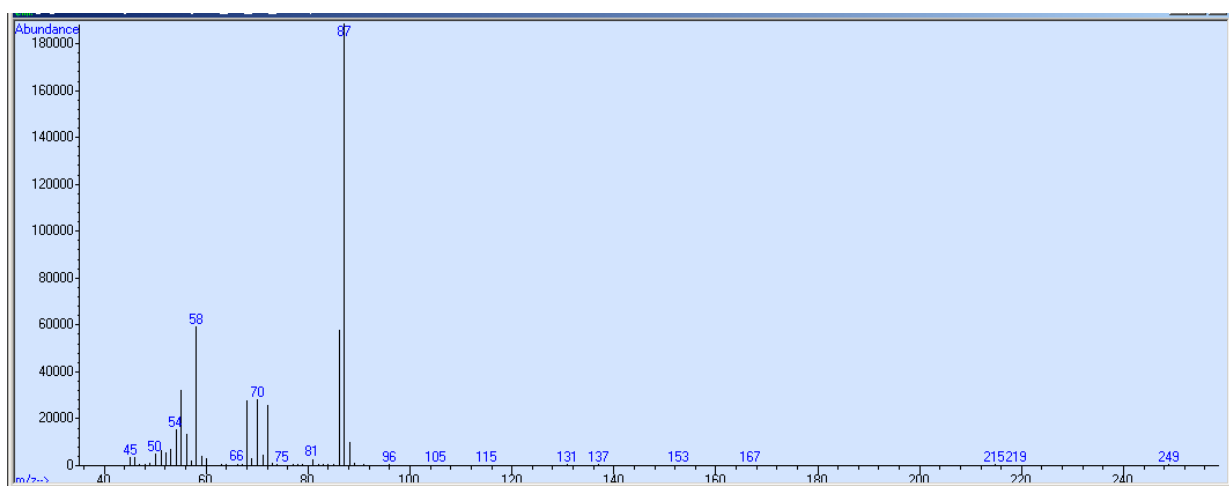
3-Metilpentano



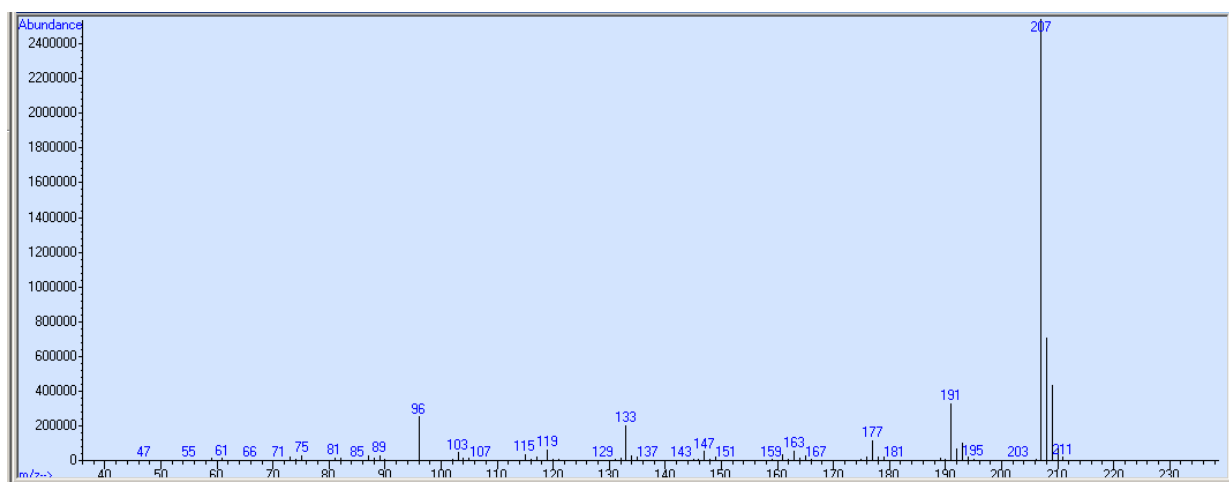
1,3-Butadieno



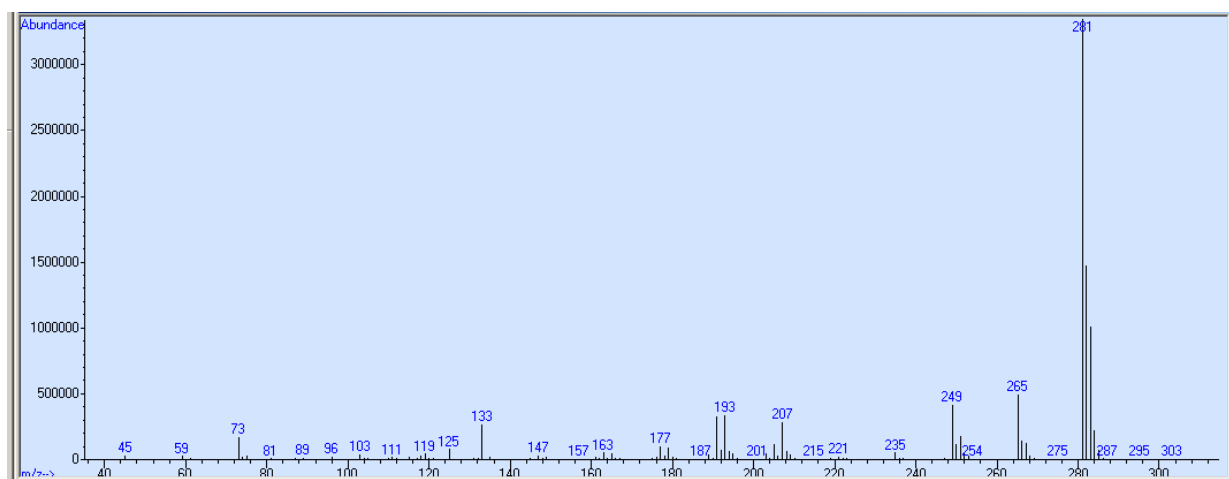
2-Butanona-oxima



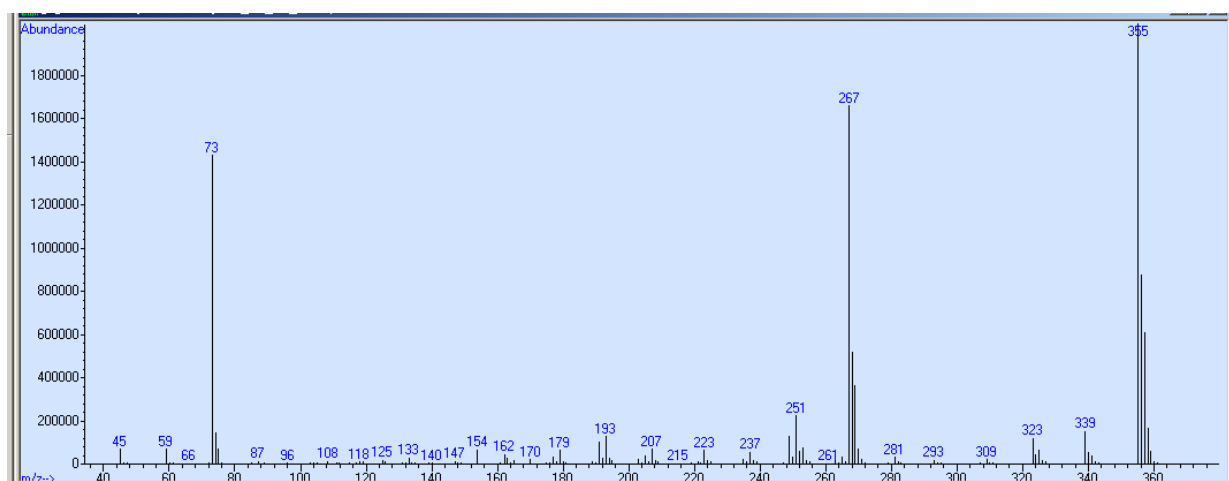
Hexametildiclotrisiloxano



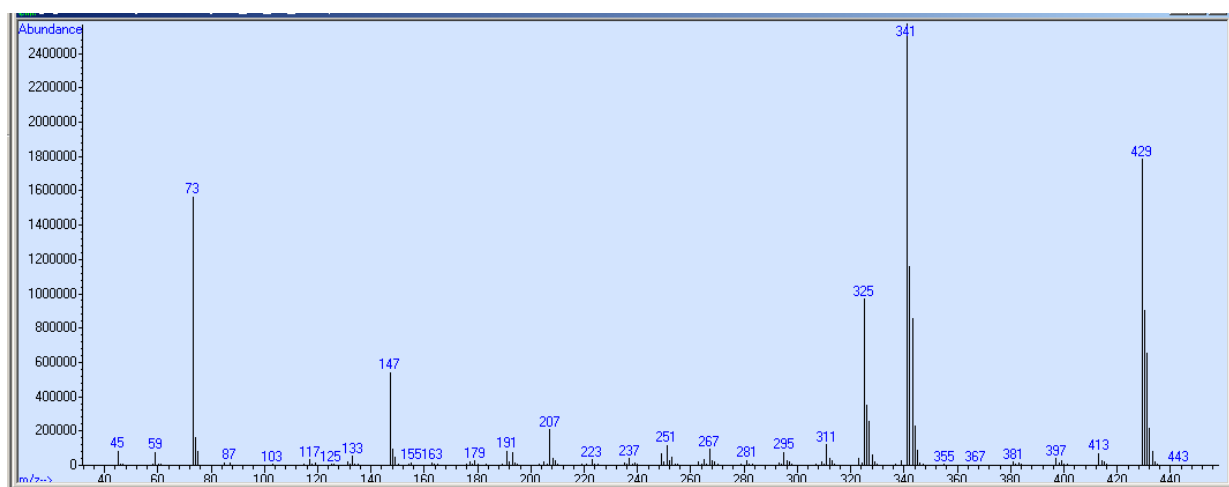
Octametilciclotetrasiloxano



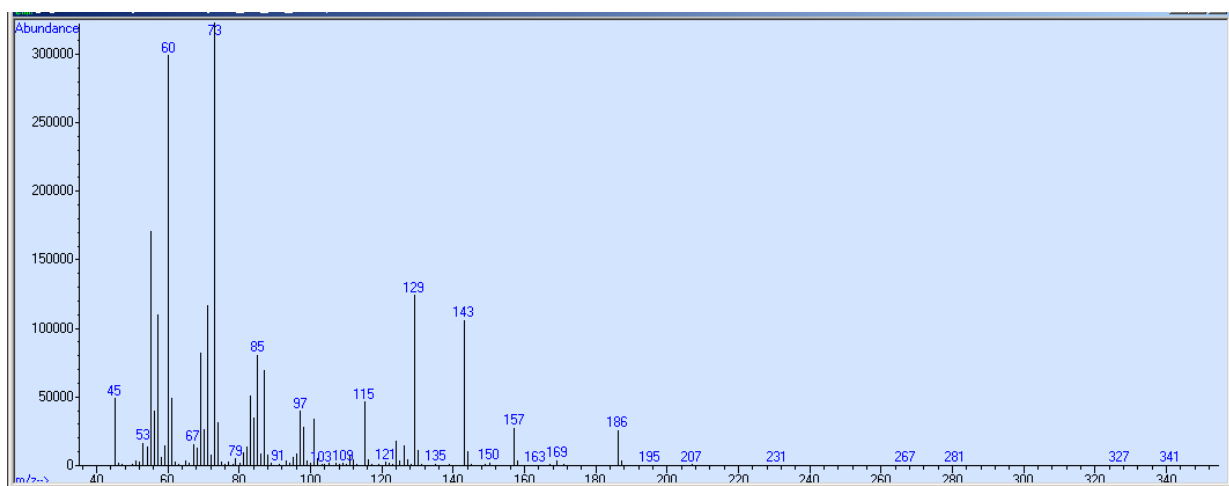
Decametilciclopentasiloxano



Dodecametilciclohexasiloxano



Ácido Undecanoico



## ANEXO III: DATOS DE LAS MUESTRAS TOMADAS DESGLOSADOS POR LOS DISTINTOS PUNTOS DE MUESTREO

Este anexo presenta los datos obtenidos en todos los muestreos realizados para este trabajo de tesis doctoral.

### Muestreos activos:

Puntos exteriores (azotea y calle serrano), resultados desarrollados por familias en el siguiente orden: BTX-aromáticos; aldehídos y terpenos; alifáticos y alcoholes y por ultimo siloxanos y otros.

Puntos interiores (Protohistoria, Egipto, Medieval y Moderna), resultados desarrollados por familias en el siguiente orden: BTX-aromáticos; aldehídos y terpenos; alifáticos y alcoholes y por ultimo siloxanos y otros.

### Muestreos pasivos:

Puntos interiores (Protohistoria, Egipto y Medieval), resultados desarrollados por familias en el siguiente orden: BTX-aromáticos; aldehídos y terpenos; alifáticos y alcoholes y por ultimo siloxanos y otros.

Puntos interiores de vitrinas (Nespamedu y Momia Femenina), resultados desarrollados por familias en el siguiente orden: BTX-aromáticos; aldehídos y terpenos; alifáticos y alcoholes y por ultimo siloxanos y otros.

Leyenda de las tablas:

	No se tomaba este punto de muestra
	No estaba en los calibrados en ese periodo
	BTX-Aromático
	Aldehídos y Terpenos
	Alifáticos y Alcoholes
	Siloxanos, ácidos y oximas

**Muestreos activos:**

Azotea

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno					0,032	0,074	1,088	4,323	1,331	0,174
Tolueno					1,636	2,396	4,524	7,854	0,585	2,690
Etilbenceno					0,246	0,463	0,531	1,596	0,262	0,920
<i>o</i> -Xileno					0,383	0,322	0,743	1,767	0,284	1,035
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno					0,175	1,438	0,501	0,913	0,159	0,428
Cumeno					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
<i>n</i> -Propilbenceno					0,000	0,000	0,059	0,200	0,017	0,087
3-Etiltolueno					0,000	0,218	0,764	1,347	0,000	0,678
Mesitileno					0,000	0,151	0,111	0,240	0,065	0,124
1,2,4-Trimetilbenceno					0,154	0,698	0,485	1,019	0,000	0,543
1,2,3-Trimetilbenceno					0,109	0,225	0,125	0,095	0,008	0,050
Cimeno					0,030	0,063	0,033	0,086	0,000	0,051
<i>n</i> -Butilbenceno					0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno					0,000	0,020	0,015	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno					0,000	0,058	0,044	0,000	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	-	-	-	-	2,764	6,137	9,023	19,439	2,712	6,788
T/°C	12,91	18,10	20,17	24,61	26,70	26,74	22,25	18,78	13,63	9,38
HR/%	47,18	48,77	36,86	35,88	34,59	35,30	50,69	58,09	68,29	60,09
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,452	2,202	1,387	0,396	0,561	0,271	1,023	0,854	7,615	2,730	3,420	1,378
Tolueno	3,297	1,294	5,263	1,767	4,901	0,782	1,718	2,629	14,399	8,734	11,893	3,078
Etilbenceno	1,431	0,359	0,999	0,451	0,581	0,000	0,242	0,506	19,277	0,520	0,952	0,393
<i>o</i> -Xileno	0,420	0,358	1,267	0,785	0,676	0,081	0,306	0,561	18,651	0,886	1,476	0,649
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,451	0,205	0,584	0,333	0,298	0,056	0,336	0,000	22,370	0,653	0,728	0,488
Cumeno	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,151	0,000	0,018	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	0,290	0,035	0,098	0,056	0,000	0,000	0,000	0,000	0,201	0,000	0,162	0,065
3-Etiltolueno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,785	1,166	0,344	0,115
Mesitileno	0,665	0,049	0,123	0,027	0,024	0,000	0,000	0,030	0,122	0,085	0,186	0,064
1,2,4-Trimetilbenceno	2,316	0,163	0,567	0,150	0,272	0,000	0,099	0,000	1,709	0,477	0,753	0,338
1,2,3-Trimetilbenceno	0,351	0,025	0,049	0,000	0,092	0,000	0,000	0,000	0,412	0,083	0,223	0,064
Cimeno	0,134	0,000	0,407	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,145	0,046	0,129	0,031
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,078	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000	0,021	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,058	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,128	0,034	0,078	0,023
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	9,807	4,711	10,803	3,966	7,404	1,191	3,723	4,587	85,995	15,413	20,460	6,685
T/°C	8,95	9,73	13,61	16,84	22,64	26,94	32,08	26,38	23,39	16,14	14,02	11,96
HR/%	53,62	54,80	49,36	45,25	36,87	33,62	28,60	35,37	44,63	63,43	60,88	60,76
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,774	1,242	1,209	1,495	0,646	1,175	0,214	0,999	1,299	0,518	4,686	2,244
Tolueno	1,412	3,097	1,353	2,513	2,166	3,330	0,320	6,140	2,753	2,786	17,553	9,588
Etilbenceno	0,161	0,361	0,249	0,495	0,208	0,481	0,062	0,650	0,629	0,483	0,696	1,422
<i>o</i> -Xileno	0,226	0,556	0,277	0,709	0,537	0,798	0,148	0,925	0,881	0,911	1,459	2,447
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,187	0,424	0,234	0,458	0,271	0,418	0,070	0,334	0,711	0,048	0,562	1,763
Cumeno	0,000	0,012	0,000	0,049	0,004	0,024	0,577	0,000	0,033	0,038	0,368	2,053
<i>n</i> -Propilbenceno	0,023	0,053	0,000	0,109	0,082	0,050	0,019	0,000	0,047	0,046	0,168	1,324
3-Etiltolueno	0,057	0,472	0,061	0,507	0,051	0,025	0,038	0,000	0,646	0,128	0,323	0,972
Mesitileno	0,038	0,097	0,061	0,133	0,139	0,168	0,258	0,000	0,219	0,126	0,373	1,926
1,2,4-Trimetilbenceno	0,130	0,335	0,128	0,402	0,331	0,507	0,221	0,224	0,670	0,271	0,362	1,254
1,2,3-Trimetilbenceno	0,032	0,084	0,031	0,150	0,128	0,084	0,061	0,048	0,086	0,020	0,147	0,407
Cimeno	0,014	0,026	0,023	0,060	0,109	0,066	0,055	0,061	0,089	0,087	0,136	0,819
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,041	0,210	0,377
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,007	0,004	0,006	0,014	0,010	0,008	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,027	0,008	0,024	0,011	0,019	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	3,052	6,791	3,639	7,144	4,695	7,156	2,060	9,381	8,076	5,505	27,045	26,595
T/°C	11,56	10,73	11,84	15,23	18,83	25,96	29,25	27,59	23,71	17,97	12,79	11,33
HR/%	67,74	57,31	50,23	54,96	47,32	34,51	31,52	32,78	38,94	55,64	60,65	67,43
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,233	1,364	0,718	1,408	0,985	0,189	0,461	0,042	11,160		0,624	0,000
Tolueno	1,282	2,597	0,841	2,018	1,692	0,395	1,098	0,000	6,126		0,000	0,000
Etilbenceno	0,182	0,245	0,062	0,380	0,212	0,000	0,000	0,000	1,412		0,175	0,000
<i>o</i> -Xileno	0,403	0,650	0,297	0,965	0,671	0,000	0,033	0,000	2,126		0,000	0,000
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,103	0,236	0,087	0,329	0,227	0,000	0,142	0,000	1,150		0,038	0,012
Cumeno	0,054	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,214		0,023	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,010	0,009	0,000	0,000	0,000	0,043		0,000	0,000
3-Etiltolueno	0,024	0,116	0,000	0,220	0,087	0,000	0,000	0,000	0,592		0,000	0,000
Mesitileno	0,000	0,000	0,000	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,145		0,000	0,000
1,2,4-Trimetilbenceno	0,022	0,132	0,000	0,254	0,012	0,000	0,000	0,000	0,071		0,000	0,000
1,2,3-Trimetilbenceno	0,000	0,000	0,071	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Cimeno	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	2,303	5,340	2,076	5,687	3,896	0,583	1,734	0,042	23,038	0,000	0,860	0,012
T/°C	9,20	10,70	14,10	18,36	19,39	27,64	27,72	26,98	21,99	19,84	14,10	9,38
HR/%	55,65	61,85	51,33	38,82	48,65	35,59	33,89	36,84	39,59	45,41	56,66	63,45
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal					0,000	0,276	0,000	0,000	0,000	0,258
Tetracloroetileno					0,000	0,061	0,355	0,685	0,022	0,257
1-Metoxi-2-propilacetato					0,000	0,096	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Pino					0,000	0,338	0,268	0,610	0,102	0,266
Benzaldehído					0,000	0,066	0,000	0,000	0,000	0,000
Limoneno					0,058	0,098	0,159	0,508	0,095	0,388
Acetofenona					0,891	1,120	0,160	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato					0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000
Nonanal					0,042	0,043	0,105	0,095	0,012	0,000
Alcanfor					0,000	0,000	0,005	0,000	0,001	0,000
Decanal					0,000	0,103	0,000	0,211	0,020	0,000
Isobornilacetato					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Fenilbutiramida					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato					0,000	0,151	0,000	0,000	0,000	0,119
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	-	-	-	-	0,991	2,351	1,072	2,110	0,252	1,288
T/°C	12,91	18,10	20,17	24,61	26,70	26,74	22,25	18,78	13,63	9,38
HR/%	47,18	48,77	36,86	35,88	34,59	35,30	50,69	58,09	68,29	60,09
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,830	0,151	0,423	0,289	0,000	0,000	0,000	0,000	4,070	1,241	1,460	0,685
Tetracloroetileno	0,181	0,077	0,724	0,324	1,713	0,000	2,062	0,000	0,447	1,594	3,366	0,837
1-Metoxi-2-propilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,148	0,000
$\alpha$ -Pino	2,459	0,044	0,293	0,245	0,193	0,089	0,155	0,287	1,042	0,315	0,830	0,024
Benzaldehído	1,995	0,732	0,839	0,145	0,029	0,000	0,000	0,026	0,000	0,000	1,081	0,000
Limoneno	4,836	0,029	0,000	0,000	0,000	0,835	0,000	0,000	0,000	0,284	0,442	0,218
Acetofenona	0,000	0,704	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,644	0,000	1,754	0,035
2-Butoxietilacetato	0,152	0,018	0,064	0,069	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,186	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,357	0,036	0,057	0,000
Alcanfor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001
Decanal	0,000	0,094	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,067	0,000	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,081	0,003
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000	0,013	0,000
Diisobutilftalato	0,194	0,065	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,033	0,000	0,202	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	10,882	1,999	2,343	1,072	1,935	0,924	2,223	0,313	6,679	3,470	9,434	1,804
T/°C	8,95	9,73	13,61	16,84	22,64	26,94	32,08	26,38	23,39	16,14	14,02	11,96
HR/%	53,62	54,80	49,36	45,25	36,87	33,62	28,60	35,37	44,63	63,43	60,88	60,76
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tetracloroetileno	0,223	0,394	0,013	0,014	0,006	0,034	0,000	0,015	0,150	0,464	1,062	0,277
1-Metoxi-2-propilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,167	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Pineno	0,042	0,219	0,043	0,082	0,620	0,144	0,003	0,133	0,060	0,070	0,186	0,171
Benzaldehído	0,000	0,000	0,023	0,003	0,140	0,146	0,013	0,564	0,000	0,000	0,000	0,000
Limoneno	0,034	0,093	0,098	0,072	0,779	0,149	0,453	0,021	0,072	0,087	0,075	0,206
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,032	0,000	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,033	0,001	0,000	0,000	0,027	0,000	0,065	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Alcanfor	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,004	0,010	0,014
Decanal	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,070	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,062	0,000	0,089	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,332	0,716	0,176	0,172	1,606	0,473	0,805	0,834	0,345	0,626	1,421	0,669
T/°C	11,56	10,73	11,84	15,23	18,83	25,96	29,25	27,59	23,71	17,97	12,79	11,33
HR/%	67,74	57,31	50,23	54,96	47,32	34,51	31,52	32,78	38,94	55,64	60,65	67,43
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,358		0,000	0,000
Tetracloroetileno	0,452	0,180	0,297	0,348	0,512	0,000	0,028	0,000	0,464		0,000	0,000
1-Metoxi-2-propilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\alpha$ -Pino	0,147	0,049	0,031	0,050	0,078	0,000	0,143	1,052	0,273		0,000	0,039
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Limoneno	0,000	0,047	0,000	0,095	0,000	0,000	0,000	0,000	0,645		0,000	0,000
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Nonanal	0,000	0,000	0,000	0,184	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Alcanfor	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Decanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Diisobutylftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,599	0,276	0,328	0,681	0,591	0,000	0,172	1,052	4,739	0,000	0,000	0,039
T/°C	9,20	10,70	14,10	18,36	19,39	27,64	27,72	26,98	21,99	19,84	14,10	9,38
HR/%	55,65	61,85	51,33	38,82	48,65	35,59	33,89	36,84	39,59	45,41	56,66	63,45
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Heptano					0,000	0,000	0,807	1,402	0,121	0,264
1,2-Propanodiol						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano					0,024	0,000	0,186	0,426	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano					0,050	0,258	0,073	0,329	0,029	0,066
<i>n</i> -Decano					0,127	0,702	0,255	0,562	0,062	0,165
<i>n</i> -Undecano					0,048	0,020	0,067	0,136	0,012	0,037
$\beta$ -Terpineol					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	-	-	-	-	0,249	0,980	1,389	2,855	0,224	0,533
T/°C	12,91	18,10	20,17	24,61	26,70	26,74	22,25	18,78	13,63	9,38
HR/%	47,18	48,77	36,86	35,88	34,59	35,30	50,69	58,09	68,29	60,09
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,274	0,000	1,115	0,236
<i>n</i> -Heptano	0,269	0,195	1,294	0,573	0,649	0,000	0,907	0,557	0,000	0,603	0,672	0,514
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,245	0,044	0,129	0,125	0,054	0,000	0,000	0,598	0,422	0,099	0,222	0,074
<i>n</i> -Decano	0,800	0,070	0,300	0,231	0,037	0,000	0,000	0,000	0,518	0,209	0,452	0,131
<i>n</i> -Undecano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,146	0,042
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	1,315	0,309	1,723	0,929	0,740	0,000	0,907	1,155	1,215	0,911	2,607	0,997
T/°C	8,95	9,73	13,61	16,84	22,64	26,94	32,08	26,38	23,39	16,14	14,02	11,96
HR/%	53,62	54,80	49,36	45,25	36,87	33,62	28,60	35,37	44,63	63,43	60,88	60,76
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,000	0,000	0,000	0,207	0,045	0,130	0,000	0,000	0,000	18,410	179,975	36,813
<i>n</i> -Heptano	0,274	0,432	0,145	0,319	0,009	0,113	0,000	0,457	0,899	0,000	0,000	0,000
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,059	0,039	0,004	0,038	0,000	0,039	0,000	0,008	0,030	0,049	2,313	1,935
<i>n</i> -Nonano	0,041	0,056	0,030	0,062	0,134	0,066	0,036	0,055	0,070	0,293	0,353	0,629
<i>n</i> -Decano	0,068	0,094	0,047	0,120	0,328	0,094	0,030	0,089	0,258	0,791	1,340	4,741
<i>n</i> -Undecano	0,025	0,029	0,000	0,024	0,084	0,049	0,043	0,000	0,081	0,000	0,251	0,661
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,467	0,648	0,226	0,770	0,601	0,491	0,114	0,609	1,338	19,543	184,233	44,779
T/°C	11,56	10,73	11,84	15,23	18,83	25,96	29,25	27,59	23,71	17,97	12,79	11,33
HR/%	67,74	57,31	50,23	54,96	47,32	34,51	31,52	32,78	38,94	55,64	60,65	67,43
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	16,241	0,930	0,319	0,600	0,741	0,045	0,088	0,436	0,554		0,049	0,000
<i>n</i> -Heptano	0,354	0,333	0,215	0,849	0,884	0,050	0,078	0,000	1,824		0,144	0,000
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,135	0,045	0,000	0,168	0,139	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,076	0,000	0,000	0,107	0,080	0,000	0,000	0,000	0,146		0,000	0,000
<i>n</i> -Decano	0,079	0,000	0,000	0,199	0,000	0,000	0,000	0,000	0,089		0,000	0,000
<i>n</i> -Undecano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	16,885	1,307	0,533	1,923	1,844	0,095	0,165	0,436	2,613	0,000	0,193	0,000
T/°C	9,20	10,70	14,10	18,36	19,39	27,64	27,72	26,98	21,99	19,84	14,10	9,38
HR/%	55,65	61,85	51,33	38,82	48,65	35,59	33,89	36,84	39,59	45,41	56,66	63,45
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametildiclotrisiloxano					2,320	2,705	6,398	2,273	2,607	4,055
Octametildiclotetrasiloxano					0,224	0,574	0,561	0,348	0,426	0,618
Decametildiclopentasiloxano					0,363	2,326	1,601	0,926	0,259	0,558
Dodecametildiclohexasiloxano					0,091	10,170	0,324	0,058	0,041	0,083
Ácido Undecanoico					0,000	8,096	0,603	0,000	0,000	2,953
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	-	-	-	-	2,997	23,871	9,486	3,604	3,333	8,268
T/°C	12,91	18,10	20,17	24,61	26,70	26,74	22,25	18,78	13,63	9,38
HR/%	47,18	48,77	36,86	35,88	34,59	35,30	50,69	58,09	68,29	60,09
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametildiclotrisiloxano	10,219	2,718	1,266	3,122	0,628	1,659	1,223	0,807	137,322	6,727	12,512	5,061
Octametildiclotetrasiloxano	1,272	0,493	0,339	0,101	0,091	0,085	0,111	0,047	0,269	0,165	0,276	0,070
Decametildiclopentasiloxano	2,147	0,407	1,030	0,387	0,207	0,073	0,578	0,215	2,197	0,718	1,272	0,404
Dodecametildiclohexasiloxano	1,927	0,042	0,052	0,032	0,102	0,025	0,357	0,026	0,189	0,079	0,208	0,031
Ácido Undecanoico	34,597	1,496	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,366	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	50,162	5,156	2,687	3,643	1,028	1,843	2,269	1,096	139,977	7,689	24,633	5,567
T/°C	8,95	9,73	13,61	16,84	22,64	26,94	32,08	26,38	23,39	16,14	14,02	11,96
HR/%	53,62	54,80	49,36	45,25	36,87	33,62	28,60	35,37	44,63	63,43	60,88	60,76
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametildiclotrisiloxano	2,529	1,161	1,804	0,935	1,027	0,360	0,581	0,620	0,088	0,848	1,344	0,465
Octametildiclotetrasiloxano	0,065	0,039	0,328	0,227	0,206	0,140	0,205	0,174	0,059	0,333	0,487	0,964
Decametildiclopentasiloxano	0,135	0,299	0,547	0,292	0,826	0,595	0,178	0,207	1,017	0,896	0,297	0,238
Dodecametildiclohexasiloxano	0,029	0,058	0,108	0,088	0,066	0,216	0,085	0,052	0,137	0,148	0,059	0,014
Ácido Undecanoico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	2,758	1,557	2,787	1,542	2,124	1,311	1,050	1,053	1,301	2,224	2,187	1,682
T/°C	11,56	10,73	11,84	15,23	18,83	25,96	29,25	27,59	23,71	17,97	12,79	11,33
HR/%	67,74	57,31	50,23	54,96	47,32	34,51	31,52	32,78	38,94	55,64	60,65	67,43
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Activo Azotea muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Hexametildiclotrisiloxano	0,637	0,313	0,051	0,270	0,321	0,111	0,426	0,000	0,923		0,000	0,000
Octametildiclotetrasiloxano	0,165	0,090	0,018	0,124	0,068	0,012	0,000	0,000	0,168		0,000	0,120
Decametildiclopentasiloxano	0,185	0,317	0,218	0,868	0,651	0,000	0,074	0,401	1,778		0,045	0,273
Dodecametildiclohexasiloxano	0,029	0,043	0,000	0,204	0,222	0,071	0,098	0,193	0,523		0,000	0,224
Ácido Undecanoico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,016	0,763	0,286	1,466	1,261	0,193	0,599	0,594	3,392	0,000	0,045	0,617
T/°C	9,20	10,70	14,10	18,36	19,39	27,64	27,72	26,98	21,99	19,84	14,10	9,38
HR/%	55,65	61,85	51,33	38,82	48,65	35,59	33,89	36,84	39,59	45,41	56,66	63,45
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Serrano

Activo Serrano muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno		1,920	3,140	2,092	1,529	3,854	1,273	1,012	1,461	1,801	4,668	1,746
Tolueno		4,535	6,492	5,335	3,313	24,582	4,396	3,250	3,240	4,323	15,568	4,903
Etilbenceno		0,612	1,457	1,348	0,558	4,613	0,720	0,606	0,867	0,950	0,923	0,718
<i>o</i> -Xileno		0,846	1,934	1,955	0,736	5,979	1,223	0,971	1,361	1,001	1,732	1,055
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno		0,703	1,519	1,279	0,744	4,802	0,731	0,573	1,083	0,655	0,630	0,744
Cumeno		0,017	0,071	0,088	0,039	0,307	0,041	0,000	0,042	0,198	0,336	0,198
<i>n</i> -Propilbenceno		0,103	0,305	0,148	0,132	1,288	0,050	0,065	0,123	0,405	0,171	0,093
3-Etiltolueno		0,450	0,863	0,503	0,250	4,072	0,166	0,112	1,047	2,874	0,337	0,287
Mesitileno		0,198	0,553	0,303	0,236	1,635	0,220	0,102	0,236	0,691	0,401	0,248
1,2,4-Trimetilbenceno		0,681	1,618	1,089	0,657	5,506	0,756	0,394	0,902	2,090	0,384	0,292
1,2,3-Trimetilbenceno		0,145	0,415	0,248	0,122	1,366	0,116	0,116	0,119	0,577	0,139	0,063
Cimeno		0,032	0,100	0,059	0,086	0,599	0,130	0,108	0,105	0,238	0,126	0,000
<i>n</i> -Butilbenceno		0,000	0,041	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,202	0,033	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno		0,014	0,036	0,022	0,008	0,093	0,014	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno		0,059	0,103	0,053	0,018	0,311	0,034	0,000	0,045	0,113	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,000	10,315	18,647	14,526	8,429	59,007	9,871	7,308	10,645	16,118	25,449	10,347
T/°C	11,56	10,73	11,84	15,23	18,83	25,96	29,25	27,59	23,71	17,97	12,79	11,33
HR/%	67,74	57,31	50,23	54,96	47,32	34,51	31,52	32,78	38,94	55,64	60,65	67,43
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Serrano muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,533	2,321	0,993	1,589	1,408	0,471	0,263	0,032	12,121		14,742	15,470
Tolueno	2,042	3,662	1,577	1,821	2,657	2,067	4,292	0,000	8,966		1,794	4,882
Etilbenceno	0,500	0,783	0,303	0,477	0,626	0,477	0,000	0,000	2,589		0,387	2,795
<i>o</i> -Xileno	0,966	1,812	0,691	1,158	1,300	0,723	0,000	0,000	3,312		0,756	3,142
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,390	0,000	0,215	0,412	0,548	0,319	0,000	0,000	1,744		0,310	1,540
Cumeno	0,000	0,000	0,007	0,018	0,020	0,039	0,000	0,000	0,106		0,014	0,054
<i>n</i> -Propilbenceno	0,016	0,000	0,029	0,010	0,078	0,018	0,000	0,000	0,369		0,043	0,182
3-Etiltolueno	0,169	0,517	0,134	0,310	0,348	0,100	0,000	0,210	1,287		0,000	1,302
Mesitileno	0,047	0,139	0,046	0,045	0,197	0,037	0,000	0,000	0,238		0,000	0,299
1,2,4-Trimetilbenceno	0,266	0,591	0,203	0,419	0,487	0,157	0,000	0,000	0,825		0,000	1,459
1,2,3-Trimetilbenceno	0,023	0,124	0,000	0,066	0,081	0,023	0,000	0,000	0,104		0,000	0,188
Cimeno	0,000	0,018	0,000	0,020	0,014	0,014	0,000	0,000	0,000		0,000	0,053
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,158	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	4,952	9,967	4,198	6,345	7,765	4,604	4,555	0,241	31,661	0,000	18,046	31,367
T/°C	9,20	10,70	14,10	18,36	19,39	27,64	27,72	26,98	21,99	19,84	14,10	9,38
HR/%	55,65	61,85	51,33	38,82	48,65	35,59	33,89	36,84	39,59	45,41	56,66	63,45
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Serrano muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,818	0,137	0,000	1,863	0,000	0,000
Tetracloroetileno		0,560	0,087	0,033	0,021	0,414	0,131	0,036	0,156	0,285	0,843	0,422
1-Metoxi-2-propilacetato		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,999	0,000	0,000
$\alpha$ -Pineno		0,086	0,155	0,225	0,182	0,090	0,309	0,143	0,089	2,013	0,192	0,114
Benzaldehído		0,097	0,395	0,079	0,036	0,838	0,153	0,094	0,000	0,000	0,000	0,000
Limoneno		0,051	0,194	0,042	0,121	0,160	0,036	0,026	0,113	1,416	0,064	0,053
Acetofenona		0,106	0,283	0,138	0,095	1,544	0,169	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal		0,025	0,175	0,058	0,066	0,300	0,127	0,153	0,000	1,144	0,000	0,000
Alcanfor		0,000	0,001	0,000	0,001	0,004	0,001	0,002	0,002	0,016	0,020	0,003
Decanal		0,000	0,075	0,000	0,020	0,000	0,055	0,000	0,000	0,447	0,000	0,000
Isobornilacetato		0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,175	0,000	0,000
2-Fenilbutiramida		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,168	0,031	0,216	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,000	0,926	1,363	0,575	0,541	3,356	1,801	0,759	0,391	8,574	1,119	0,592
T/°C	11,56	10,73	11,84	15,23	18,83	25,96	29,25	27,59	23,71	17,97	12,79	11,33
HR/%	67,74	57,31	50,23	54,96	47,32	34,51	31,52	32,78	38,94	55,64	60,65	67,43
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Serrano muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	3,802	0,000	3,229	0,000	0,000	0,000	0,000	6,065		1,469	2,534
Tetracloroetileno	0,601	0,613	0,601	0,549	0,754	0,254	0,000	0,000	0,723		0,243	0,435
1-Metoxi-2-propilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\alpha$ -Pino	0,202	0,081	0,075	0,054	0,091	0,218	0,000	0,000	0,209		0,095	0,295
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Limoneno	0,081	0,028	0,018	0,110	0,015	0,494	0,000	0,000	0,000		0,085	0,911
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Nonanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,999
Alcanfor	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	0,013	0,000	0,000	0,008		0,000	0,005
Decanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,000	0,000	0,096	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004		0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,883	4,525	0,792	3,943	0,863	1,018	0,000	0,000	7,008	0,000	1,891	5,179
T/°C	9,20	10,70	14,10	18,36	19,39	27,64	27,72	26,98	21,99	19,84	14,10	9,38
HR/%	55,65	61,85	51,33	38,82	48,65	35,59	33,89	36,84	39,59	45,41	56,66	63,45
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Serrano muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano		0,000	0,625	0,213	0,077	0,053	0,000	0,000	0,000	12,441	163,809	6,315
<i>n</i> -Heptano		0,540	1,015	0,619	0,327	1,140	0,000	0,449	0,652	0,516	0,000	0,116
1,2-Propanodiol		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano		0,108	0,165	0,085	0,058	0,584	0,000	0,006	0,100	0,000	2,160	0,072
<i>n</i> -Nonano		0,077	0,143	0,097	0,112	1,168	0,096	0,082	0,122	0,087	0,365	0,099
<i>n</i> -Decano		0,139	0,176	0,169	0,352	1,742	0,229	0,177	0,332	0,970	1,601	0,596
<i>n</i> -Undecano		0,051	0,073	0,053	0,043	0,413	0,083	0,052	0,119	0,616	0,000	0,000
$\beta$ -Terpineol		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,081	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,000	0,915	2,198	1,236	0,970	5,100	0,409	0,766	1,325	14,712	167,936	7,199
T/°C	11,56	10,73	11,84	15,23	18,83	25,96	29,25	27,59	23,71	17,97	12,79	11,33
HR/%	67,74	57,31	50,23	54,96	47,32	34,51	31,52	32,78	38,94	55,64	60,65	67,43
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Serrano muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	3,336	0,389	3,023	0,409	0,739	0,518	0,000	0,160	0,658		0,672	3,188
<i>n</i> -Heptano	0,260	0,668	0,987	1,009	1,248	0,592	0,093	0,000	2,082		0,690	1,345
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,102	0,141	0,097	0,159	0,134	0,444	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,050	0,087	0,056	0,162	0,098	0,066	0,000	0,000	0,372		0,056	0,202
<i>n</i> -Decano	0,071	0,147	0,048	0,204	0,151	0,127	0,000	0,000	0,479		0,000	0,299
<i>n</i> -Undecano	0,000	0,117	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,168
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	3,819	1,550	4,210	1,943	2,370	1,746	0,093	0,160	3,592	0,000	1,418	5,202
T/°C	9,20	10,70	14,10	18,36	19,39	27,64	27,72	26,98	21,99	19,84	14,10	9,38
HR/%	55,65	61,85	51,33	38,82	48,65	35,59	33,89	36,84	39,59	45,41	56,66	63,45
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Serrano muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametildiclotrisiloxano		0,842	1,783	0,820	1,249	0,705	0,127	0,686	0,260	2,533	1,342	0,362
Octametildiclotetrasiloxano		0,433	1,008	0,683	0,867	1,328	0,794	1,877	0,561	3,283	1,379	0,397
Decametildiclopentasiloxano		0,864	2,971	0,971	1,801	3,591	3,088	4,765	1,386	8,427	1,317	1,114
Dodecametildiclohexasiloxano		0,174	0,387	0,220	0,453	0,565	0,981	1,596	0,179	3,054	0,270	0,047
Ácido Undecanoico		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,000	2,313	6,148	2,695	4,370	6,189	4,991	8,924	2,386	17,297	4,309	1,920
T/°C	11,56	10,73	11,84	15,23	18,83	25,96	29,25	27,59	23,71	17,97	12,79	11,33
HR/%	67,74	57,31	50,23	54,96	47,32	34,51	31,52	32,78	38,94	55,64	60,65	67,43
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Activo Serrano muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Hexametildiclotrisiloxano	1,052	0,333	0,199	0,283	0,199	0,169	0,000	0,367	1,418		0,619	0,795
Octametildiclotetrasiloxano	3,147	0,165	0,155	0,346	0,484	0,563	0,034	0,000	0,313		0,058	0,228
Decametildiclopentasiloxano	5,570	1,152	0,456	1,318	1,739	1,723	0,515	0,082	3,872		0,522	2,485
Dodecametildiclohexasiloxano	1,862	0,000	0,146	0,460	0,551	0,648	0,482	0,000	1,339		0,261	0,579
Ácido Undecanoico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	11,632	1,650	0,957	2,407	2,972	3,103	1,032	0,449	6,942	0,000	1,461	4,088
T/°C	9,20	10,70	14,10	18,36	19,39	27,64	27,72	26,98	21,99	19,84	14,10	9,38
HR/%	55,65	61,85	51,33	38,82	48,65	35,59	33,89	36,84	39,59	45,41	56,66	63,45
Visitantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protohistoria

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	82,497	1,371	0,081	0,904	1,468	0,129	0,128	0,590	0,534	1,000
Tolueno	18,831	2,894	1,105	2,887	6,749	1,764	1,285	5,320	3,196	6,297
Etilbenceno	1,901	0,474	0,395	1,308	1,473	0,702	0,761	1,582	0,686	1,331
<i>o</i> -Xileno	2,719	0,640	0,569	1,776	1,861	0,277	0,252	0,428	0,361	1,600
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	2,388	1,023	1,114	1,986	6,422	0,371	1,404	0,507	0,199	0,345
Cumeno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000	0,020
<i>n</i> -Propilbenceno	0,382	0,109	0,090	0,115	0,000	0,096	0,521	0,206	0,071	0,026
3-Etiltolueno	0,930	0,181	0,104	0,097	1,027	0,331	1,164	0,374	0,739	0,948
Mesitileno	0,675	0,165	0,117	0,155	0,884	0,137	0,548	0,208	0,083	0,142
1,2,4-Trimetilbenceno	2,044	0,698	0,439	0,575	1,348	0,921	2,319	1,180	0,429	0,649
1,2,3-Trimetilbenceno	0,563	0,177	0,088	0,451	0,963	0,238	0,434	0,097	0,045	0,061
Cimeno	0,000	0,029	0,024	0,102	0,401	0,065	0,120	0,264	0,100	0,225
<i>n</i> -Butilbenceno	0,196	0,133	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno				0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno				0,000	0,000	0,077	0,000	0,000	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	113,124	7,894	4,125	10,357	22,596	5,150	8,937	10,756	6,443	12,644
T/°C	22,86	22,35	21,91	22,58	23,15	23,68	22,77	21,84	21,30	22,46
HR/%	29,95	42,51	37,78	42,62	42,25	43,11	49,93	52,95	44,97	31,03
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,650	0,329	0,284	0,320	0,330	0,000	0,632	0,000	0,519	0,938	3,496	0,456
Tolueno	3,436	0,845	0,760	1,445	1,935	2,003	1,377	9,949	11,496	22,026	40,072	1,450
Etilbenceno	0,032	0,295	0,158	0,328	0,601	0,695	0,627	0,794	0,683	0,601	1,579	0,147
<i>o</i> -Xileno	0,164	0,146	0,167	0,273	0,322	0,325	0,344	0,497	0,636	0,624	1,691	0,281
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,000	0,053	0,450	0,895	0,732	0,171	0,422	0,665	0,267	0,227	0,218	0,107
Cumeno	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,054	0,059	0,016	1,220	0,000	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	0,213	0,099	0,021	0,034	0,046	0,066	0,096	0,050	0,096	0,206	0,191	0,016
3-Etiltolueno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,407	0,110	0,445	0,168
Mesitileno	0,413	0,192	0,014	0,027	0,042	0,074	0,154	0,726	0,431	0,717	0,204	0,017
1,2,4-Trimetilbenceno	1,766	0,858	0,081	0,155	0,423	0,816	0,469	0,030	0,746	0,232	1,324	0,108
1,2,3-Trimetilbenceno	0,161	0,080	0,019	0,043	0,081	0,121	0,140	0,719	0,165	0,172	0,291	0,024
Cimeno	0,122	0,020	0,017	0,030	0,088	0,148	0,125	0,099	0,126	0,391	0,279	0,021
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,255	0,000	0,127	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,022	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000	0,077	0,004
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	6,957	2,934	1,971	3,549	4,627	4,420	4,440	13,841	15,612	27,619	49,890	2,797
T/°C	22,93	23,64	23,05	21,95	22,19	23,08	24,00	23,77	22,57	22,09	22,62	23,17
HR/%	26,95	25,65	29,12	34,64	37,63	39,48	40,04	42,00	43,33	45,82	41,15	33,04
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,597	0,362	0,788	0,900	1,518	1,671	0,214	0,452	1,254	0,455	0,000	0,152
Tolueno	1,037	0,968	1,112	2,679	4,068	6,956	0,320	2,017	1,739	3,559	2,771	0,885
Etilbenceno	0,126	0,062	0,217	0,316	0,973	1,113	0,062	0,496	0,991	0,593	0,276	0,237
<i>o</i> -Xileno	0,137	0,076	0,267	0,341	0,990	1,097	0,148	0,511	1,265	0,741	0,590	0,460
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,070	0,046	0,186	0,118	0,554	0,481	0,070	0,225	1,032	0,360	0,249	0,246
Cumeno	0,000	0,000	0,025	0,017	0,053	0,078	0,577	0,000	0,044	0,210	0,092	0,023
<i>n</i> -Propilbenceno	0,015	0,006	0,000	0,061	0,195	0,239	0,019	0,066	0,044	0,265	0,129	0,037
3-Etiltolueno	0,062	0,053	0,250	0,111	0,636	0,497	0,038	0,151	0,617	1,387	0,279	0,105
Mesitileno	0,021	0,012	0,050	0,085	0,345	0,406	0,258	0,077	0,108	0,447	0,240	0,083
1,2,4-Trimetilbenceno	0,008	0,058	0,164	0,334	1,220	1,567	0,221	0,489	0,431	0,999	0,583	0,249
1,2,3-Trimetilbenceno	0,013	0,009	0,024	0,069	0,277	0,323	0,061	0,071	0,063	0,201	0,159	0,035
Cimeno	0,034	0,016	0,101	0,135	0,374	0,513	0,055	0,094	0,111	0,215	0,201	0,037
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,214	0,134	0,048
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,001	0,005	0,004	0,019	0,022	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,004	0,010	0,009	0,038	0,037	0,008	0,000	0,000	0,048	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	2,120	1,672	3,199	5,180	11,260	14,999	2,060	4,651	7,698	9,693	5,701	2,597
T/°C	22,98	22,70	22,63	22,99	22,98	21,92	21,65	21,60	21,53	22,44	21,84	21,34
HR/%	34,57	31,60	28,18	34,14	37,24	41,51	45,14	44,11	41,95	46,21	38,63	38,60
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,000	0,219	0,200	1,373	0,243	0,357	0,193	0,175	14,983		3,527	7,178
Tolueno	0,856	11,116	0,459	2,175	2,340	1,875	0,399	0,845	9,206		2,267	2,610
Etilbenceno	0,257	0,284	0,086	0,348	0,376	0,040	0,072	0,091	4,034		12,609	4,251
<i>o</i> -Xileno	0,514	0,485	0,221	0,742	0,560	0,727	0,144	0,164	4,669		12,567	4,651
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,285	0,371	0,125	0,437	0,202	0,161	0,000	0,000	4,100		3,807	1,770
Cumeno	0,072	0,000	0,007	0,027	0,037	0,031	0,000	0,000	0,249		0,068	0,049
<i>n</i> -Propilbenceno	0,060	0,038	0,000	0,056	0,143	0,043	0,000	0,000	0,502		0,432	0,123
3-Etiltolueno	0,186	0,226	0,043	0,165	1,150	0,168	0,000	0,000	2,349		2,082	0,803
Mesitileno	0,116	0,047	0,017	0,008	0,414	0,059	0,000	0,070	0,714		0,619	0,184
1,2,4-Trimetilbenceno	0,316	0,256	0,063	0,267	1,246	0,185	0,000	0,000	2,690		2,227	1,044
1,2,3-Trimetilbenceno	0,080	0,058	0,012	0,053	0,194	0,019	0,000	0,000	0,505		0,210	0,081
Cimeno	0,076	0,031	0,000	0,088	0,098	0,037	0,000	0,000	0,768		0,022	0,014
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,071	0,081	0,014	0,000	0,000	0,143		0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,071	0,062	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,035	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	2,820	13,132	1,234	5,915	7,180	3,716	0,808	1,346	44,912	0,000	40,436	22,756
T/°C	20,42	21,96	22,06	21,45	21,69	23,06	24,91	24,57	24,00	23,08	21,87	19,81
HR/%	30,76	35,10	35,99	33,91	40,23	42,54	37,62	38,02	36,96	38,18	34,86	32,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal				2,598	5,625	4,749	1,559	4,319	1,242	1,284
Tetracloroetileno				0,152	0,000	0,012	0,192	0,430	0,185	0,377
1-Metoxi-2-propilacetato				1,834	3,990	3,788	2,049	1,436	0,332	0,000
$\alpha$ -Pino	1,263	0,922	0,529	0,886	2,397	1,668	0,760	2,137	0,792	0,905
Benzaldehído	0,000	0,000	0,061	0,246	0,238	0,121	0,186	0,251	0,000	0,000
Limoneno	0,225	0,535	0,136	0,232	2,583	0,241	0,913	1,752	0,769	1,094
Acetofenona	0,122	0,000	0,000	0,000	0,000	1,051	0,931	0,892	0,085	0,000
2-Butoxietilacetato				0,000	0,000	0,246	0,292	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,324	0,573	0,395	0,917	1,260	1,255	0,700	0,575	0,232	0,187
Alcanfor				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Decanal	0,057	0,068	0,000	0,215	0,283	0,204	0,116	0,106	0,047	0,000
Isobornilacetato				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Fenilbutiramida				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato				0,000	0,000	0,439	0,000	0,000	0,000	0,164
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	1,992	2,099	1,121	7,081	16,376	13,774	7,699	11,899	3,686	4,009
T/°C	22,86	22,35	21,91	22,58	23,15	23,68	22,77	21,84	21,30	22,46
HR/%	29,95	42,51	37,78	42,62	42,25	43,11	49,93	52,95	44,97	31,03
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	1,038	0,723	0,943	3,869	0,000	7,695	15,513	9,071	8,476	0,000	5,304	0,427
Tetracloroetileno	1,013	0,048	0,187	0,425	1,001	0,610	1,285	0,435	0,902	1,001	2,003	0,226
1-Metoxi-2-propilacetato	0,217	0,043	0,000	0,000	0,000	1,516	2,851	2,749	1,168	0,386	0,313	0,000
$\alpha$ -Pino	0,939	0,570	0,351	0,850	0,930	2,092	1,890	1,905	2,076	0,115	10,110	0,383
Benzaldehído	1,620	0,802	0,000	0,191	0,322	0,771	0,847	0,000	0,000	0,450	1,122	0,000
Limoneno	0,015	0,622	2,868	3,093	0,294	0,364	0,236	0,101	0,335	0,082	1,788	0,124
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,218	0,191	1,289	0,000
2-Butoxietilacetato	0,151	0,073	0,043	0,068	0,133	0,168	0,150	0,102	0,000	0,149	0,000	0,000
Nonanal	0,021	0,445	0,271	0,401	0,628	0,685	0,916	0,258	0,740	0,089	0,358	0,008
Alcanfor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,008	0,004	0,003	0,113	0,005	0,000
Decanal	0,092	0,077	0,000	0,000	0,181	0,241	0,192	0,000	0,132	0,069	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,075	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,056	0,000	0,026	0,122	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,038	0,000
Diisobutilftalato	0,265	0,142	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,073	0,000	0,291	0,005
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	5,446	3,571	4,663	8,896	3,491	14,145	23,888	14,683	14,123	2,671	22,743	1,173
T/°C	22,93	23,64	23,05	21,95	22,19	23,08	24,00	23,77	22,57	22,09	22,62	23,17
HR/%	26,95	25,65	29,12	34,64	37,63	39,48	40,04	42,00	43,33	45,82	41,15	33,04
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,420	0,047	0,088	0,105	0,510	0,719	0,000	0,748	0,000	0,914	0,000	0,171
Tetracloroetileno	0,105	0,120	0,016	0,006	0,090	0,015	0,000	0,000	0,024	0,197	0,158	0,141
1-Metoxi-2-propilacetato	0,034	0,002	0,078	0,108	0,065	0,890	0,167	0,461	0,000	0,540	0,000	0,000
$\alpha$ -Pino	0,226	0,126	0,653	1,395	1,951	2,449	0,003	0,308	0,586	1,308	0,440	0,197
Benzaldehído	0,000	0,000	0,031	0,016	0,226	0,546	0,013	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000
Limoneno	0,523	0,261	0,673	1,397	2,379	3,897	0,453	0,315	0,306	1,371	1,290	0,518
Acetofenona	0,248	0,000	0,000	0,019	0,156	0,209	0,034	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,042	0,018	0,125	0,179	0,701	1,134	0,065	0,452	0,133	0,425	0,000	0,000
Alcanfor	0,000	0,000	0,001	0,001	0,004	0,008	0,000	0,004	0,008	0,013	0,008	0,005
Decanal	0,046	0,000	0,020	0,098	0,391	0,593	0,070	0,149	0,000	0,168	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,000	0,016	0,007	0,019	0,000	0,060	0,117	0,393	0,139	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	1,644	0,574	1,684	3,341	6,479	10,478	0,805	2,567	1,174	5,329	2,034	1,033
T/°C	22,98	22,70	22,63	22,99	22,98	21,92	21,65	21,60	21,53	22,44	21,84	21,34
HR/%	34,57	31,60	28,18	34,14	37,24	41,51	45,14	44,11	41,95	46,21	38,63	38,60
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,198	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	24,840		3,345	3,073
Tetracloroetileno	0,146	0,095	0,165	0,391	0,114	0,160	0,000	0,017	0,463		0,070	0,082
1-Metoxi-2-propilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,487	0,097	0,000	1,531	10,708		0,000	0,900
$\alpha$ -Pino	0,216	0,295	0,169	0,554	0,634	0,349	0,282	0,609	2,117		0,357	0,619
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Limoneno	0,907	0,547	0,316	0,944	2,895	1,008	0,563	1,849	4,666		0,460	1,295
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Nonanal	0,000	0,000	0,020	0,019	0,074	0,000	0,000	0,000	0,448		0,000	0,000
Alcanfor	0,001	0,000	0,000	0,012	0,007	0,006	0,000	0,000	0,010		0,000	0,003
Decanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,495		0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,053	0,286	0,109	0,039	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,002	0,009	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Diisobutylftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,030	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	1,469	0,937	0,724	2,215	4,340	1,660	0,844	4,007	43,749	0,000	4,262	5,973
T/°C	20,42	21,96	22,06	21,45	21,69	23,06	24,91	24,57	24,00	23,08	21,87	19,81
HR/%	30,76	35,10	35,99	33,91	40,23	42,54	37,62	38,02	36,96	38,18	34,86	32,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Heptano	54,088	1,111	0,322	0,103	0,844	0,438	5,694	1,216	0,431	0,670
1,2-Propanodiol						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,560	0,120	0,358	0,000	0,222	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,483	0,112	0,000	0,058	0,000	0,037	0,762	0,000	0,044	0,082
<i>n</i> -Decano	0,645	0,426	0,247	0,424	0,869	0,972	1,510	0,873	0,355	0,443
<i>n</i> -Undecano	0,268	0,216	0,144	0,255	0,291	0,167	0,226	0,148	0,088	0,099
$\beta$ -Terpineol				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	56,044	1,985	1,071	0,840	2,226	1,614	8,194	2,236	0,919	1,294
T/°C	22,86	22,35	21,91	22,58	23,15	23,68	22,77	21,84	21,30	22,46
HR/%	29,95	42,51	37,78	42,62	42,25	43,11	49,93	52,95	44,97	31,03
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,319	0,065
<i>n</i> -Heptano	0,777	0,193	0,570	1,576	5,441	3,855	2,766	4,697	3,437	0,774	1,498	0,291
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,458	1,177	0,911	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	0,000	0,012	0,000	0,671	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,000	0,078	0,023	0,000	0,052	0,083	0,038	0,121	0,047	0,254	0,328	0,017
<i>n</i> -Decano	0,759	0,334	0,066	0,271	0,258	0,634	0,893	1,099	0,583	1,318	0,702	0,063
<i>n</i> -Undecano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,134	0,389	0,087	0,026
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	1,536	0,605	0,672	1,847	6,423	4,572	3,698	5,918	5,659	3,913	3,843	0,462
T/°C	22,93	23,64	23,05	21,95	22,19	23,08	24,00	23,77	22,57	22,09	22,62	23,17
HR/%	26,95	25,65	29,12	34,64	37,63	39,48	40,04	42,00	43,33	45,82	41,15	33,04
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	17,145	29,785	8,080
<i>n</i> -Heptano	0,408	0,246	0,430	0,373	0,922	1,168	0,000	1,878	4,111	0,532	4,660	1,740
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,536	0,000	0,063	0,063
<i>n</i> -Nonano	0,028	0,014	0,035	0,047	0,114	0,073	0,036	0,024	0,033	0,092	0,187	0,057
<i>n</i> -Decano	0,032	0,030	0,045	0,066	0,349	0,426	0,030	0,192	0,177	1,251	1,136	0,250
<i>n</i> -Undecano	0,097	0,000	0,039	0,000	0,000	0,000	0,043	0,062	0,065	0,621	0,435	0,176
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	0,004	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,576	0,289	0,550	0,486	1,422	1,671	0,114	2,156	4,922	19,642	36,268	10,365
T/°C	22,98	22,70	22,63	22,99	22,98	21,92	21,65	21,60	21,53	22,44	21,84	21,34
HR/%	34,57	31,60	28,18	34,14	37,24	41,51	45,14	44,11	41,95	46,21	38,63	38,60
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	6,014	0,844	0,777	0,623	0,648	0,487	0,480	0,264	0,844		0,328	1,046
<i>n</i> -Heptano	3,088	5,985	3,729	4,064	5,424	1,798	0,442	0,306	6,254		1,211	2,871
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,046	0,051	0,059	0,708	1,265	0,855	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,050	0,036	0,000	0,099	0,046	0,096	0,000	0,469	0,421		0,065	0,103
<i>n</i> -Decano	0,298	0,093	0,000	0,337	0,284	0,251	0,000	0,000	1,251		0,000	0,164
<i>n</i> -Undecano	0,052	0,000	0,000	0,207	0,076	0,043	0,000	0,000	0,678		0,000	0,394
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	9,548	7,009	4,564	6,039	7,743	3,530	0,922	1,039	9,449	0,000	1,604	4,578
T/°C	20,42	21,96	22,06	21,45	21,69	23,06	24,91	24,57	24,00	23,08	21,87	19,81
HR/%	30,76	35,10	35,99	33,91	40,23	42,54	37,62	38,02	36,96	38,18	34,86	32,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	0,773	1,020	1,098	7,903	9,969	13,554	5,444	10,763	5,278	4,545
Octametilciclotetrasiloxano	0,194	0,353	0,176	0,553	1,159	1,766	6,223	1,999	0,789	0,721
Decametilciclopentasiloxano	0,474	0,921	0,677	2,946	4,638	4,538	5,049	2,421	1,375	1,068
Dodecametilciclohexasiloxano	0,737	0,333	0,566	1,157	2,291	5,846	2,921	0,966	0,218	0,212
Ácido Undecanoico				5,773	0,000	4,014	0,000	0,000	0,000	5,503
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	2,177	2,627	2,517	18,333	18,057	29,718	19,637	16,149	7,660	12,050
T/°C	22,86	22,35	21,91	22,58	23,15	23,68	22,77	21,84	21,30	22,46
HR/%	29,95	42,51	37,78	42,62	42,25	43,11	49,93	52,95	44,97	31,03
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	3,084	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	3,694	2,968	8,033	9,761	5,571	6,083	7,872	4,879	24,158	21,116	24,192	2,230
Octametilciclotetrasiloxano	0,433	0,516	0,254	0,438	0,361	0,435	0,698	0,208	0,438	0,078	0,406	0,052
Decametilciclopentasiloxano	1,662	0,538	0,762	1,238	0,858	1,474	2,167	1,456	1,851	1,129	1,721	0,447
Dodecametilciclohexasiloxano	0,257	0,315	0,450	0,820	1,260	0,546	1,337	0,574	1,001	0,260	0,517	0,063
Ácido Undecanoico	4,378	5,276	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,768	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	13,508	9,614	9,498	12,257	8,049	8,537	12,075	7,117	27,448	22,584	34,603	2,791
T/°C	22,93	23,64	23,05	21,95	22,19	23,08	24,00	23,77	22,57	22,09	22,62	23,17
HR/%	26,95	25,65	29,12	34,64	37,63	39,48	40,04	42,00	43,33	45,82	41,15	33,04
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	3,790	3,029	0,592	1,416	1,840	2,524	0,581	1,738	0,650	2,392	2,419	1,532
Octametilciclotetrasiloxano	0,070	0,056	0,132	0,313	0,485	0,566	0,205	0,347	0,185	0,557	0,702	0,537
Decametilciclopentasiloxano	0,226	0,173	0,477	0,730	1,920	2,474	0,178	1,153	1,261	2,427	1,971	1,305
Dodecametilciclohexasiloxano	0,061	0,040	0,092	0,208	1,564	0,538	0,085	0,545	0,343	0,712	0,955	0,124
Ácido Undecanoico	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	4,165	3,299	1,292	2,667	5,810	6,102	1,050	3,784	2,438	6,088	6,047	3,499
T/°C	22,98	22,70	22,63	22,99	22,98	21,92	21,65	21,60	21,53	22,44	21,84	21,34
HR/%	34,57	31,60	28,18	34,14	37,24	41,51	45,14	44,11	41,95	46,21	38,63	38,60
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Activo Protohistoria muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	1,182	1,086	0,656	1,448	2,094	1,002	1,807	2,097	10,003		4,606	3,191
Octametilciclotetrasiloxano	0,474	0,338	0,234	0,493	0,851	0,446	0,176	0,427	1,231		0,054	1,036
Decametilciclopentasiloxano	1,258	0,956	0,551	1,825	1,922	0,933	0,324	1,125	4,705		0,559	1,775
Dodecametilciclohexasiloxano	0,513	0,297	0,201	0,670	0,891	0,410	0,347	0,599	2,547		0,473	1,053
Ácido Undecanoico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	3,426	2,677	1,642	4,435	5,757	2,791	2,654	4,248	18,485	0,000	5,692	7,055
T/°C	20,42	21,96	22,06	21,45	21,69	23,06	24,91	24,57	24,00	23,08	21,87	19,81
HR/%	30,76	35,10	35,99	33,91	40,23	42,54	37,62	38,02	36,96	38,18	34,86	32,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Egipto

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	47,635	1,627	0,900	3,087	3,087	0,008	0,197	0,809	0,938	0,923
Tolueno	23,737	7,871	7,731	8,045	8,045	2,253	3,088	7,076	5,731	8,328
Etilbenceno	2,160	0,586	0,670	1,708	1,708	0,595	0,929	1,895	1,400	1,918
<i>o</i> -Xileno	3,439	0,756	0,927	2,034	2,034	0,193	0,385	0,478	0,616	0,710
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	3,224	1,574	1,304	5,717	5,717	0,626	1,307	0,599	0,378	0,563
Cumeno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,066	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	0,511	0,000	0,235	0,122	0,122	0,000	0,388	0,275	0,148	0,000
3-Etiltolueno	1,416	1,172	0,102	0,601	0,601	0,147	2,378	0,563	1,348	0,537
Mesitileno	0,816	0,185	0,254	0,281	0,281	0,374	0,385	0,273	1,348	0,220
1,2,4-Trimetilbenceno	3,230	1,250	0,884	1,401	1,401	2,088	1,561	1,594	0,971	1,153
1,2,3-Trimetilbenceno	0,708	0,637	0,281	4,051	4,051	0,767	0,190	0,093	0,087	0,101
Cimeno	0,023	0,022	0,051	0,000	0,000	0,027	0,000	0,272	0,175	0,349
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,155	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023
4-Etil- <i>o</i> -Xileno				0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,016	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	86,899	15,681	13,495	27,048	27,048	7,079	10,897	13,925	13,155	14,825
T/°C	22,10	22,40	21,89	22,57	22,68	23,01	22,53	22,10	21,97	22,58
HR/%	28,63	40,54	36,06	39,62	39,23	40,48	46,34	48,42	41,75	31,71
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	1,001	0,332	0,389	0,253	0,498	0,000	0,555	0,717	0,438	0,839	1,395	1,126
Tolueno	4,922	0,602	0,920	1,283	4,549	3,180	1,471	15,025	15,479	18,252	62,546	5,785
Etilbenceno	1,584	0,227	0,304	0,210	0,894	0,994	0,682	1,025	0,806	1,102	2,600	0,637
<i>o</i> -Xileno	1,890	0,150	0,248	0,174	0,417	0,432	0,341	0,706	0,720	1,035	2,625	0,707
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,370	0,071	0,264	0,517	0,222	0,267	0,495	0,863	0,321	0,517	1,139	0,365
Cumeno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,038	0,014	0,030	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	0,478	0,158	0,264	0,000	0,073	0,101	0,148	0,137	0,158	0,323	0,330	0,068
3-Etiltolueno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,426	0,000	0,000	0,503	0,949	0,925	0,245
Mesitileno	0,844	0,277	1,070	0,026	0,077	0,108	0,164	0,200	0,842	0,312	0,333	0,079
1,2,4-Trimetilbenceno	3,655	1,267	0,196	0,137	0,814	1,337	0,528	0,539	1,025	2,163	2,745	0,527
1,2,3-Trimetilbenceno	0,332	0,117	0,064	0,041	0,145	0,135	0,285	0,171	0,289	0,561	0,546	0,106
Cimeno	0,135	0,023	0,056	0,024	0,130	0,260	0,216	0,173	0,217	0,288	0,478	0,099
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,181	0,042
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,010	0,016	0,044	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,052	0,000	0,000	0,039	0,000	0,000	0,038	0,041	0,000	0,200	0,041
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	15,213	3,316	3,775	2,666	7,869	9,239	4,924	19,617	20,885	26,386	76,044	9,826
T/°C	22,45	22,32	22,20	21,29	21,46	22,83	24,00	23,56	22,00	22,15	22,80	23,10
HR/%	26,04	25,44	28,87	33,52	37,87	38,44	37,87	40,57	44,43	44,74	40,47	32,49
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,774	0,826	2,523	1,203	1,224	0,775	1,192	0,000	1,252	1,801	0,883	0,722
Tolueno	1,412	3,604	3,832	3,951	6,606	7,321	4,027	0,000	5,602	4,323	8,222	2,727
Etilbenceno	0,161	0,230	1,034	0,592	1,056	1,221	0,723	1,346	1,731	0,950	1,000	0,882
<i>o</i> -Xileno	0,226	0,237	1,231	0,598	1,004	1,154	0,618	0,155	2,724	1,001	1,469	1,085
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,187	0,103	0,420	0,252	0,425	0,454	0,451	0,030	2,086	0,655	0,707	0,670
Cumeno	0,000	0,009	0,117	0,039	0,041	0,083	0,050	0,000	0,043	0,198	0,580	0,149
<i>n</i> -Propilbenceno	0,023	0,034	0,380	0,149	0,209	0,321	0,129	0,077	0,147	0,405	0,451	0,218
3-Etiltolueno	0,057	0,087	0,392	0,272	0,295	0,569	0,276	0,206	0,628	2,874	1,182	0,849
Mesitileno	0,038	0,047	0,215	0,162	0,277	0,466	0,227	0,185	0,221	0,691	0,751	0,520
1,2,4-Trimetilbenceno	0,130	0,260	0,930	0,829	1,417	2,005	1,126	1,236	1,072	2,090	1,380	1,145
1,2,3-Trimetilbenceno	0,032	0,054	0,133	0,122	0,282	0,512	0,277	0,509	0,259	0,577	0,521	0,166
Cimeno	0,014	0,064	0,423	0,397	0,519	0,395	0,189	0,269	0,145	0,238	0,403	0,257
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,202	0,465	0,050
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,005	0,006	0,001	0,025	0,027	0,019	0,000	0,000	0,000	0,051	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,029	0,029	0,016	0,015	0,034	0,033	0,000	0,000	0,113	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	3,052	5,588	11,668	8,584	13,395	15,337	9,336	4,012	15,910	16,118	18,064	9,440
T/°C	22,74	22,57	22,35	22,24	22,69	22,09	22,29	22,38	22,00	22,23	21,41	21,33
HR/%	35,11	32,35	28,45	34,17	37,44	39,74	42,14	40,81	39,31	41,28	36,79	37,00
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	1,860	0,284	0,146	3,575	1,840	0,623	0,416	0,387	15,291		0,000	6,394
Tolueno	0,626	24,158	0,377	5,016	3,523	3,141	0,796	0,967	8,153		6,135	2,087
Etilbenceno	0,624	0,641	0,309	0,665	0,536	0,696	0,105	0,259	3,291		27,191	8,569
<i>o</i> -Xileno	0,912	0,932	0,505	1,388	0,768	1,011	0,215	0,336	3,761		24,429	7,721
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,389	0,276	0,142	0,854	0,232	0,310	0,174	0,539	2,867		9,106	3,385
Cumeno	0,070	0,025	0,018	0,032	0,039	0,037	0,000	0,070	0,243		0,199	0,106
<i>n</i> -Propilbenceno	0,145	0,109	0,039	0,129	0,255	0,100	0,000	0,472	0,484		1,212	0,350
3-Etiltolueno	0,927	0,793	0,303	0,771	1,576	0,558	0,000	0,193	2,166		6,667	2,224
Mesitileno	0,231	0,157	0,065	0,143	0,442	0,128	0,000	0,042	0,719		1,832	0,598
1,2,4-Trimetilbenceno	0,930	0,723	0,285	0,648	1,481	0,518	0,000	0,279	2,596		7,602	3,037
1,2,3-Trimetilbenceno	0,417	0,252	0,082	0,256	0,327	0,173	0,000	0,000	0,426		1,308	0,451
Cimeno	0,180	0,141	0,140	0,262	0,185	0,129	0,000	0,015	0,584		0,181	0,426
<i>n</i> -Butilbenceno	0,140	0,077	0,032	0,061	0,059	0,060	0,000	0,000	0,084		0,279	0,287
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,255	0,222
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,074	0,000	0,023	0,088	0,063	0,037	0,000	0,000	0,237		0,226	0,178
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	7,528	28,567	2,466	13,889	11,326	7,521	1,706	3,559	40,900	0,000	86,622	36,036
T/°C	21,05	21,70	22,04	21,61	21,72	22,03	23,93	23,73	23,00	22,30	21,72	20,90
HR/%	30,95	36,28	41,85	37,61	40,86	42,45	37,49	37,95	36,65	37,84	36,02	34,66
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal				5,273	5,273	35,299	3,957	7,533	3,624	3,015
Tetracloroetileno				0,000	0,000	0,066	0,105	0,548	0,290	0,629
1-Metoxi-2-propilacetato				4,469	4,469	4,607	1,312	1,853	0,760	0,281
$\alpha$ -Pino	2,235	1,498	1,255	1,607	1,607	1,358	1,213	2,829	1,578	1,673
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,239	0,000	0,340	0,000	0,000
Limoneno	0,523	0,680	0,255	0,436	0,436	0,245	0,295	1,789	1,352	1,832
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,697	0,605	0,162	0,000
2-Butoxietilacetato				0,000	0,000	0,000	0,112	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,668	1,277	0,846	2,054	2,054	0,000	0,504	0,799	0,546	0,442
Alcanfor				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Decanal	0,099	0,484	0,262	0,546	0,546	0,151	0,079	0,128	0,130	0,076
Isobornilacetato				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Fenilbutiramida				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato				0,333	0,333	0,161	0,000	0,000	0,000	0,155
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	3,525	3,938	2,618	14,719	14,719	42,124	8,275	16,425	8,444	8,102
T/°C	22,10	22,40	21,89	22,57	22,68	23,01	22,53	22,10	21,97	22,58
HR/%	28,63	40,54	36,06	39,62	39,23	40,48	46,34	48,42	41,75	31,71
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	1,775	0,694	4,797	3,214	0,000	15,578	21,639	14,263	14,404	22,657	13,028	3,072
Tetracloroetileno	0,461	0,005	0,201	0,180	1,422	0,733	1,105	0,741	1,269	1,601	2,974	0,702
1-Metoxi-2-propilacetato	0,000	0,073	0,000	0,000	0,000	2,931	3,421	4,240	1,948	3,202	0,899	0,071
$\alpha$ -Pino	1,723	0,638	2,539	0,722	1,712	2,960	2,133	3,184	3,449	3,842	18,695	2,024
Benzaldehído	3,239	1,002	0,040	0,087	0,631	0,000	0,819	0,589	0,000	0,000	1,536	0,095
Limoneno	2,310	0,352	9,792	3,322	0,517	1,229	0,581	0,802	0,619	0,838	3,530	0,538
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,272	0,523	1,565	0,092
2-Butoxietilacetato	0,295	0,109	0,086	0,057	0,186	0,234	0,166	0,112	0,000	0,103	0,000	0,000
Nonanal	0,000	0,350	0,655	0,000	1,129	1,349	1,144	0,328	1,143	2,154	0,719	0,136
Alcanfor	0,019	0,000	0,000	0,000	0,002	0,005	0,008	0,005	0,004	0,000	0,006	0,000
Decanal	0,000	0,147	0,044	0,000	0,324	0,422	0,196	0,000	0,199	0,354	0,229	0,031
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,000	0,035	0,097	0,016
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,032	0,000	0,047	0,013
Diisobutilftalato	0,049	0,068	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,343	0,080
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	9,871	3,438	18,153	7,581	5,924	25,441	31,212	24,325	23,340	35,308	43,669	6,870
T/°C	22,45	22,32	22,20	21,29	21,46	22,83	24,00	23,56	22,00	22,15	22,80	23,10
HR/%	26,04	25,44	28,87	33,52	37,87	38,44	37,87	40,57	44,43	44,74	40,47	32,49
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	0,350	0,462	0,550	0,823	2,432	0,781	65,347	0,000	1,863	0,000	0,607
Tetracloroetileno	0,223	0,333	0,034	0,008	0,009	0,059	0,037	0,000	0,092	0,285	0,506	0,048
1-Metoxi-2-propilacetato	0,000	0,085	0,000	0,217	0,732	1,505	0,482	2,168	0,000	0,999	0,000	0,000
$\alpha$ -Pineno	0,042	0,563	2,225	5,054	4,743	3,274	0,902	0,933	0,872	2,013	0,876	0,447
Benzaldehído	0,000	0,129	0,250	0,145	0,704	0,844	0,293	0,438	0,042	0,000	0,000	0,000
Limoneno	0,034	0,984	3,361	3,282	5,137	4,177	1,736	1,230	0,535	1,416	1,109	1,539
Acetofenona	0,000	0,064	0,110	0,076	0,187	0,242	0,137	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,033	0,327	1,289	0,687	1,715	1,732	1,017	1,293	0,564	1,144	0,205	0,000
Alcanfor	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,024	0,004	0,037	0,005	0,016	0,018	0,004
Decanal	0,000	0,145	0,851	0,457	1,033	0,795	0,521	0,453	0,107	0,447	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,000	0,025	0,019	0,042	0,000	0,602	0,000	0,175	0,063	0,041
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutylftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,216	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,332	2,980	8,584	10,505	15,108	15,126	5,910	72,652	2,218	8,574	2,778	2,686
T/°C	22,74	22,57	22,35	22,24	22,69	22,09	22,29	22,38	22,00	22,23	21,41	21,33
HR/%	35,11	32,35	28,45	34,17	37,44	39,74	42,14	40,81	39,31	41,28	36,79	37,00
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	0,438	0,468	0,702	0,000	0,000	0,000	0,000	17,503		18,437	25,463
Tetracloroetileno	0,257	0,271	0,204	0,656	0,356	0,373	0,015	0,031	0,517		0,099	0,103
1-Metoxi-2-propilacetato	0,438	0,247	0,158	0,000	0,468	0,544	0,000	4,160	4,438		0,000	1,068
$\alpha$ -Pino	0,604	0,883	0,377	0,989	0,669	0,636	0,335	0,833	1,784		0,739	1,160
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Limoneno	2,425	3,910	0,367	2,101	3,135	0,767	0,000	1,946	4,206		2,046	3,536
Acetofenona	0,000	0,277	0,000	0,035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Nonanal	0,464	0,606	0,450	0,739	0,501	0,399	0,000	0,000	0,562		0,000	0,436
Alcanfor	0,005	0,005	0,007	0,010	0,009	0,010	0,000	0,006	0,012		0,004	0,007
Decanal	0,098	0,118	0,105	0,291	0,145	0,108	0,000	0,000	0,918		0,291	0,000
Isobornilacetato	0,055	0,633	0,170	0,347	0,126	0,081	0,000	0,126	0,583		0,000	0,373
2-Fenilbutiramida	0,130	0,160	0,071	0,159	0,089	0,086	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,028	0,023	0,016	0,024	0,059	0,000	0,000	0,039	0,077		0,000	0,060
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	4,504	7,571	2,392	6,053	5,557	3,004	0,351	7,142	30,601	0,000	21,616	32,205
T/°C	21,05	21,70	22,04	21,61	21,72	22,03	23,93	23,73	23,00	22,30	21,72	20,90
HR/%	30,95	36,28	41,85	37,61	40,86	42,45	37,49	37,95	36,65	37,84	36,02	34,66
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Heptano	37,701	8,053	10,039	1,602	1,602	0,214	0,653	1,853	1,086	1,358
1,2-Propanodiol						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	3,686	4,273	0,231	0,231	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,335	0,076	0,104	0,000	0,000	0,000	0,598	0,000	0,074	0,098
<i>n</i> -Decano	1,310	0,692	0,634	0,740	0,740	0,678	0,817	1,037	0,609	0,719
<i>n</i> -Undecano	0,462	0,324	0,291	0,434	0,434	0,602	0,116	0,167	0,166	0,176
$\beta$ -Terpineol				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,058	0,000
$\alpha$ -Terpineol				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	39,807	12,831	15,341	3,007	3,007	1,495	2,185	3,058	1,992	2,351
T/°C	22,10	22,40	21,89	22,57	22,68	23,01	22,53	22,10	21,97	22,58
HR/%	28,63	40,54	36,06	39,62	39,23	40,48	46,34	48,42	41,75	31,71
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,902	0,000	0,200	0,000
<i>n</i> -Heptano	0,820	0,112	1,226	1,162	3,230	2,669	3,966	2,405	2,775	6,504	3,416	1,051
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,606	6,214	1,816	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	0,000	0,000	0,000	1,183	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,334	0,102	0,033	0,032	0,060	0,087	0,055	0,121	0,071	0,077	0,465	0,051
<i>n</i> -Decano	1,571	0,463	0,149	0,133	0,575	0,875	0,915	0,813	0,662	1,013	1,091	0,282
<i>n</i> -Undecano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,165	0,317	0,358	0,114
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	2,725	0,677	1,461	1,327	5,048	3,631	4,937	3,338	6,180	14,125	7,346	1,497
T/°C	22,45	22,32	22,20	21,29	21,46	22,83	24,00	23,56	22,00	22,15	22,80	23,10
HR/%	26,04	25,44	28,87	33,52	37,87	38,44	37,87	40,57	44,43	44,74	40,47	32,49
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	12,441	81,402	3,147
<i>n</i> -Heptano	0,274	0,826	1,027	0,601	0,375	3,434	0,044	80,413	1,318	0,516	0,000	1,659
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,932	0,000	2,772	0,017
<i>n</i> -Nonano	0,041	0,040	0,104	0,064	0,043	0,062	0,044	1,115	0,062	0,087	0,440	0,085
<i>n</i> -Decano	0,068	0,106	0,187	0,171	0,347	0,704	0,352	0,409	0,375	0,970	4,443	0,656
<i>n</i> -Undecano	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,149	0,616	1,246	0,180
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,039	0,075	0,000	0,084	0,028	0,000	0,000	0,081	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,467	0,972	1,358	0,910	0,765	4,284	0,469	81,937	2,837	14,712	90,304	5,744
T/°C	22,74	22,57	22,35	22,24	22,69	22,09	22,29	22,38	22,00	22,23	21,41	21,33
HR/%	35,11	32,35	28,45	34,17	37,44	39,74	42,14	40,81	39,31	41,28	36,79	37,00
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	2,165	4,446	0,827	0,000	0,621	3,811	0,453	1,499	0,882		0,000	5,102
<i>n</i> -Heptano	15,278	46,162	10,964	14,988	10,801	16,691	1,771	2,555	9,655		12,456	21,149
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,179	1,182	0,633	1,402	0,105	1,666	0,063	0,066	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,067	0,053	0,050	0,185	0,062	0,213	0,000	0,042	0,410		0,157	0,154
<i>n</i> -Decano	0,527	0,326	0,162	0,577	0,406	0,435	0,000	0,244	1,261		0,277	0,470
<i>n</i> -Undecano	0,663	0,555	0,109	0,468	0,431	0,227	0,000	0,000	0,759		0,408	0,248
$\beta$ -Terpineol	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	18,909	52,725	12,744	17,621	12,426	23,043	2,287	4,406	12,966	0,000	13,298	27,123
T/°C	21,05	21,70	22,04	21,61	21,72	22,03	23,93	23,73	23,00	22,30	21,72	20,90
HR/%	30,95	36,28	41,85	37,61	40,86	42,45	37,49	37,95	36,65	37,84	36,02	34,66
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilcyclotrisiloxano	2,015	1,750	1,427	10,179	10,179	12,393	8,041	9,149	7,296	6,688
Octametilcyclotetrasiloxano	0,450	0,659	0,315	0,588	0,588	2,246	0,861	1,511	1,141	0,979
Decametilciclopentasiloxano	0,654	2,158	1,079	6,049	6,049	4,936	1,635	2,475	1,605	3,767
Dodecametilciclohexasiloxano	0,310	0,568	0,465	1,326	1,326	14,145	0,884	0,404	0,260	0,272
Ácido Undecanoico				7,743	7,743	12,850	0,000	0,000	0,000	9,633
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	3,429	5,136	3,286	25,884	25,884	46,569	11,422	13,539	10,302	21,339
T/°C	22,10	22,40	21,89	22,57	22,68	23,01	22,53	22,10	21,97	22,58
HR/%	28,63	40,54	36,06	39,62	39,23	40,48	46,34	48,42	41,75	31,71
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilcyclotrisiloxano	4,708	2,457	15,328	7,791	5,469	7,255	6,494	5,945	23,987	41,062	27,675	9,135
Octametilcyclotetrasiloxano	0,687	0,419	0,531	0,219	0,372	0,563	0,652	0,471	0,401	0,595	0,428	0,132
Decametilciclopentasiloxano	1,555	0,536	1,290	0,792	0,966	1,431	2,042	1,660	1,855	2,859	2,331	1,830
Dodecametilciclohexasiloxano	0,243	0,106	0,506	0,116	0,252	0,346	0,745	0,217	0,247	0,535	0,329	0,107
Ácido Undecanoico	6,911	3,672	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,111	0,184	6,652	0,065
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	14,104	7,189	17,655	8,918	7,058	9,595	9,932	8,294	26,601	45,235	37,416	11,268
T/°C	22,45	22,32	22,20	21,29	21,46	22,83	24,00	23,56	22,00	22,15	22,80	23,10
HR/%	26,04	25,44	28,87	33,52	37,87	38,44	37,87	40,57	44,43	44,74	40,47	32,49
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	2,529	7,895	1,958	1,754	2,974	3,578	1,346	0,856	1,317	2,533	2,223	1,191
Octametilciclotetrasiloxano	0,065	0,248	0,449	0,456	0,687	3,633	0,511	5,569	5,499	3,283	1,683	0,668
Decametilciclopentasiloxano	0,135	0,833	1,794	1,463	2,875	8,728	2,228	14,169	12,767	8,427	4,332	1,511
Dodecametilciclohexasiloxano	0,029	0,181	0,749	0,213	0,845	2,573	0,468	4,491	4,510	3,054	1,216	0,347
Ácido Undecanoico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	2,758	9,156	4,951	3,886	7,381	18,512	4,554	25,085	24,092	17,297	9,454	3,716
T/°C	22,74	22,57	22,35	22,24	22,69	22,09	22,29	22,38	22,00	22,23	21,41	21,33
HR/%	35,11	32,35	28,45	34,17	37,44	39,74	42,14	40,81	39,31	41,28	36,79	37,00
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Activo Egipto muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	2,216	2,172	1,054	2,241	1,840	1,270	1,168	1,941	6,431		8,899	4,754
Octametilciclotetrasiloxano	1,689	2,113	0,709	4,963	1,346	1,085	0,466	0,746	2,144		0,442	1,606
Decametilciclopentasiloxano	5,735	7,359	1,671	13,641	4,598	4,251	1,428	2,502	6,074		2,578	6,659
Dodecametilciclohexasiloxano	1,721	2,494	0,559	6,921	1,707	2,206	0,475	0,770	1,730		0,928	5,465
Ácido Undecanoico	0,000	2,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	11,361	16,159	3,994	27,765	9,490	8,811	3,536	5,959	16,379	0,000	12,847	18,484
T/°C	21,05	21,70	22,04	21,61	21,72	22,03	23,93	23,73	23,00	22,30	21,72	20,90
HR/%	30,95	36,28	41,85	37,61	40,86	42,45	37,49	37,95	36,65	37,84	36,02	34,66
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Medieval

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	39,173	1,393	0,826	2,224	2,224	0,191	0,223	0,553	0,897	0,989
Tolueno	16,772	3,342	1,691	3,886	3,886	2,578	5,276	10,091	5,749	8,434
Etilbenceno	1,853	0,600	0,650	1,230	1,230	1,291	1,125	2,733	1,095	2,089
<i>o</i> -Xileno	1,438	0,777	0,983	1,552	1,552	0,171	0,247	0,598	0,482	0,640
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	2,311	1,178	1,520	6,137	6,137	0,805	3,896	0,961	0,327	0,675
Cumeno	0,000	0,000	0,296	0,099	0,099	0,000	0,000	0,000	0,000	0,044
<i>n</i> -Propilbenceno	0,398	0,129	0,302	0,172	0,172	0,153	0,139	0,334	0,096	0,072
3-Etiltolueno	1,162	0,099	0,135	0,906	0,906	0,548	0,051	0,608	0,994	1,551
Mesitileno	0,573	0,335	0,235	5,489	5,489	0,307	0,162	0,406	0,146	0,257
1,2,4-Trimetilbenceno	2,276	0,851	0,907	1,354	1,354	1,807	0,925	2,166	0,768	1,172
1,2,3-Trimetilbenceno	0,531	0,336	0,212	1,163	1,163	0,448	0,207	0,161	0,077	0,110
Cimeno	0,047	0,031	0,050	0,087	0,087	0,196	0,172	0,560	0,240	0,367
<i>n</i> -Butilbenceno	0,316	0,112	0,135	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno				0,000	0,000	0,031	0,000	0,000	0,016	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	66,852	9,184	7,942	24,298	24,298	8,527	12,424	19,172	10,886	16,398
T/°C	22,66	21,67	22,09	22,24	22,98	23,40	22,47	21,92	22,63	23,57
HR/%	30,39	39,09	33,93	37,69	39,23	40,55	46,83	46,76	39,95	29,69
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,961	0,414	0,475	0,453	0,413	0,000	0,608	0,670	4,506	3,538	0,490	1,004
Tolueno	5,963	1,974	0,885	2,592	2,567	1,736	1,197	15,973	12,241	6,608	41,436	3,662
Etilbenceno	1,756	0,570	0,446	0,657	0,444	0,673	0,681	1,041	0,913	0,733	1,830	0,347
<i>o</i> -Xileno	0,505	0,196	0,286	0,464	0,208	0,355	0,349	0,538	0,864	0,688	1,947	0,352
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	1,668	0,179	0,236	0,470	0,602	0,250	0,524	0,876	0,383	0,412	0,886	0,227
Cumeno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,076	0,041	0,000	0,038	0,027	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	0,522	0,153	0,043	0,056	0,049	0,073	0,147	0,078	0,113	0,172	0,234	0,050
3-Etiltolueno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,437	0,494	0,600	0,178
Mesitileno	0,925	0,252	0,053	0,000	0,041	0,084	0,172	0,098	2,400	0,167	0,240	0,054
1,2,4-Trimetilbenceno	4,062	1,123	0,300	0,368	0,362	0,927	0,526	0,315	0,925	1,237	2,097	0,355
1,2,3-Trimetilbenceno	0,364	0,100	0,090	0,114	0,066	0,136	0,177	0,146	0,230	0,314	0,410	0,075
Cimeno	0,320	0,168	0,088	0,089	0,076	0,185	0,155	0,121	0,206	0,253	0,453	0,067
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,055	0,112	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,040	0,000	0,106	0,024
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	17,045	5,128	2,904	5,261	4,828	4,418	4,613	19,897	23,322	14,765	50,756	6,395
T/°C	23,10	23,10	23,64	22,42	22,13	22,37	23,64	23,33	23,04	22,26	23,55	23,70
HR/%	24,93	25,51	27,66	32,47	37,33	39,66	38,48	40,57	39,97	43,26	36,61	31,61
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,692	0,226	1,302	1,444	1,083	1,357	1,187	0,000	1,322	2,732	0,555	1,688
Tolueno	1,668	0,590	2,350	3,149	2,173	4,403	3,262	1,133	2,787	5,169	4,611	2,480
Etilbenceno	0,158	0,058	0,552	0,651	0,528	0,739	0,836	0,193	0,901	0,864	0,462	0,626
<i>o</i> -Xileno	0,158	0,057	0,593	0,655	0,500	0,762	0,774	0,383	0,871	1,003	1,040	1,148
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,097	0,040	0,409	0,332	0,354	0,533	0,593	0,338	0,840	0,668	0,399	0,555
Cumeno	0,000	0,000	0,052	0,058	0,049	0,066	0,023	0,000	0,091	0,437	0,165	0,473
<i>n</i> -Propilbenceno	0,027	0,005	0,067	0,173	0,049	0,222	0,224	0,033	0,120	0,441	0,206	0,381
3-Etiltolueno	0,087	0,024	0,150	0,241	0,123	0,349	0,351	0,076	0,131	1,052	1,050	0,261
Mesitileno	0,033	0,023	0,119	0,204	0,137	0,307	0,381	0,076	0,281	0,616	0,412	0,539
1,2,4-Trimetilbenceno	0,201	0,074	0,410	0,892	0,787	1,262	1,780	0,471	1,118	0,860	1,195	0,442
1,2,3-Trimetilbenceno	0,037	0,013	0,099	0,135	0,137	0,248	0,418	0,122	0,443	0,261	0,237	0,155
Cimeno	0,039	0,018	0,153	0,259	0,296	0,346	0,276	0,121	0,330	0,344	0,397	0,277
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,325	0,259	0,486
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,000	0,006	0,010	0,009	0,014	0,023	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,017	0,024	0,013	0,032	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	3,198	1,135	6,278	8,228	6,237	10,642	10,178	2,946	9,234	14,773	11,019	9,511
T/°C	23,62	23,17	22,70	23,13	23,01	21,68	22,17	21,99	21,89	22,85	21,90	23,22
HR/%	32,65	29,79	27,20	33,17	36,90	44,76	45,74	42,76	41,26	42,95	37,05	34,44
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,000	0,200	0,164	1,603	0,144	0,425	0,315	0,093	33,503		5,463	8,875
Tolueno	2,873	7,416	0,182	2,263	0,255	1,109	0,555	0,196	12,757		2,650	1,621
Etilbenceno	0,693	0,329	0,233	0,380	0,220	0,340	0,131	0,000	3,784		15,176	0,096
<i>o</i> -Xileno	1,271	0,526	0,389	0,626	0,368	0,459	0,278	0,000	3,647		15,202	1,399
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,738	0,209	0,472	0,422	0,227	0,168	0,000	0,048	2,716		4,969	0,038
Cumeno	0,200	0,027	0,029	0,026	0,020	0,035	0,000	0,000	0,150		0,154	0,207
<i>n</i> -Propilbenceno	0,253	0,042	0,049	0,055	0,057	0,020	0,000	0,000	0,265		0,617	1,412
3-Etiltolueno	1,193	0,373	0,117	0,280	0,244	0,070	0,000	0,000	1,092		3,176	1,888
Mesitileno	0,508	0,083	0,064	0,068	0,102	0,050	0,000	0,000	0,206		0,844	0,228
1,2,4-Trimetilbenceno	1,476	0,439	0,297	0,322	0,439	0,188	0,000	0,000	0,720		3,458	0,879
1,2,3-Trimetilbenceno	0,389	0,108	0,082	0,076	0,083	0,024	0,000	0,000	0,090		0,484	2,227
Cimeno	0,268	0,098	0,673	0,118	0,086	0,075	0,000	0,000	0,059		0,054	0,000
<i>n</i> -Butilbenceno	0,250	0,080	0,000	0,028	0,054	0,032	0,000	0,000	0,000		0,070	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,024	0,000	0,015	0,068	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,034	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,308
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	10,136	9,928	2,765	6,369	2,329	2,995	1,279	0,337	58,990	0,000	52,316	19,178
T/°C	22,58	22,93	22,98	20,90	21,40	22,78	24,42	24,87	24,01	23,24	22,18	21,42
HR/%	26,47	33,90	35,96	31,72	39,18	42,17	38,11	37,94	36,37	37,32	35,18	31,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal				7,028	7,028	8,779	8,741	9,366	2,532	3,133
Tetracloroetileno				0,000	0,000	0,369	0,161	0,670	0,276	0,628
1-Metoxi-2-propilacetato				10,216	10,216	9,697	9,298	4,408	1,352	0,917
$\alpha$ -Pino	4,722	2,635	2,218	4,108	4,108	4,718	4,490	7,584	2,600	3,710
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,176	0,176	0,195	0,612	0,731	0,000	0,000
Limoneno	0,385	1,095	0,227	0,483	0,483	0,936	0,832	5,140	1,356	1,730
Acetofenona	0,329	0,080	0,000	0,000	0,000	1,300	1,055	0,880	0,163	0,167
2-Butoxietilacetato				0,000	0,000	0,000	0,469	0,000	0,159	0,000
Nonanal	0,712	0,907	0,830	1,999	1,999	2,096	1,530	1,400	0,517	0,471
Alcanfor				0,000	0,000	0,003	0,011	0,000	0,002	0,000
Decanal	0,125	0,000	0,000	0,446	0,446	0,373	0,215	0,210	0,091	0,000
Isobornilacetato				0,000	0,000	2,448	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Fenilbutiramida				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato				0,000	0,000	0,558	0,000	0,000	0,000	0,220
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	6,272	4,717	3,275	24,454	24,454	31,471	27,416	30,389	9,049	10,976
T/°C	22,66	21,67	22,09	22,24	22,98	23,40	22,47	21,92	22,63	23,57
HR/%	30,39	39,09	33,93	37,69	39,23	40,55	46,83	46,76	39,95	29,69
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	2,416	2,042	6,801	10,257	3,395	10,488	16,987	4,965	11,315	10,888	9,246	2,055
Tetracloroetileno	0,563	0,042	0,394	1,046	0,917	0,807	1,594	0,601	0,634	1,359	2,110	0,470
1-Metoxi-2-propilacetato	0,824	1,089	0,000	0,000	1,051	3,156	4,406	2,426	2,974	3,270	1,344	0,248
$\alpha$ -Pino	4,699	3,248	2,391	3,915	1,717	3,510	3,065	3,234	4,212	3,225	16,334	0,762
Benzaldehído	3,662	1,142	0,396	0,531	0,270	0,879	0,844	0,234	0,000	0,000	1,312	0,048
Limoneno	6,986	2,001	24,461	10,335	0,282	1,135	0,444	0,373	1,023	0,774	3,317	0,636
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,262	0,303	0,871	0,066
2-Butoxietilacetato	0,341	0,108	0,139	0,134	0,081	0,173	0,142	0,090	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,499	0,874	1,172	1,157	0,493	1,025	0,956	0,238	1,071	1,139	0,682	0,077
Alcanfor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	0,007	0,003	0,000	0,000	0,006	0,001
Decanal	0,188	0,293	0,134	0,162	0,074	0,223	0,212	0,000	0,147	0,177	0,193	0,013
Isobornilacetato	0,074	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,054	0,034	0,031	0,076	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,010
Diisobutilftalato	0,168	0,187	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,386	0,080
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	20,420	11,087	35,889	27,539	8,282	21,399	28,657	12,219	21,673	21,166	35,926	4,466
T/°C	23,10	23,10	23,64	22,42	22,13	22,37	23,64	23,33	23,04	22,26	23,55	23,70
HR/%	24,93	25,51	27,66	32,47	37,33	39,66	38,48	40,57	39,97	43,26	36,61	31,61
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,624	0,099	0,442	0,467	0,396	0,663	0,489	0,000	6,194	0,521	0,000	2,688
Tetracloroetileno	0,206	0,098	0,033	0,008	0,005	0,034	0,024	0,008	0,091	0,219	0,285	0,913
1-Metoxi-2-propilacetato	0,129	0,064	0,443	0,566	1,366	1,397	1,921	1,033	0,429	0,905	0,000	0,000
$\alpha$ -Pino	0,411	0,201	1,438	2,393	2,064	2,650	1,991	0,780	0,938	3,157	0,804	0,702
Benzaldehído	0,000	0,001	0,013	0,234	0,338	0,321	0,484	0,131	0,103	0,000	0,000	0,000
Limoneno	0,703	0,259	0,769	2,506	2,645	3,724	3,306	0,344	0,485	1,861	2,167	0,883
Acetofenona	0,157	0,000	0,026	0,104	0,118	0,127	0,232	0,073	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,171	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,082	0,034	0,462	0,700	0,916	0,869	1,149	0,568	0,452	0,487	0,350	0,000
Alcanfor	0,000	0,000	0,002	0,004	0,003	0,006	0,002	0,004	0,003	0,009	0,019	0,013
Decanal	0,060	0,000	0,127	0,381	0,481	0,506	0,699	0,214	0,175	0,221	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,000	0,030	0,014	0,019	0,011	0,035	0,034	0,091	0,441	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,253	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	2,373	0,757	3,756	7,393	8,347	10,316	10,481	3,190	8,904	7,724	4,066	5,201
T/°C	23,62	23,17	22,70	23,13	23,01	21,68	22,17	21,99	21,89	22,85	21,90	23,22
HR/%	32,65	29,79	27,20	33,17	36,90	44,76	45,74	42,76	41,26	42,95	37,05	34,44
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,315	0,487	0,000	0,000	14,702		5,468	9,627
Tetracloroetileno	0,310	0,088	0,079	0,522	0,081	0,123	0,014	0,007	0,255		0,127	2,853
1-Metoxi-2-propilacetato	0,906	0,765	0,543	0,076	0,806	0,513	3,130	0,000	1,584		0,000	0,695
$\alpha$ -Pino	1,950	1,365	1,147	0,607	0,704	0,704	1,137	0,939	2,429		1,051	0,000
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,507
Limoneno	2,166	1,432	0,015	0,977	1,814	0,467	0,625	0,000	2,416		1,166	0,000
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Nonanal	0,390	0,228	0,000	0,000	0,029	0,055	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Alcanfor	0,005	0,003	0,106	0,006	0,003	0,006	0,003	0,000	0,010		0,000	0,003
Decanal	0,056	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Isobornilacetato	0,010	0,024	0,179	0,125	0,063	0,044	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,063	0,059	0,000	0,000	0,031	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,000	0,012	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,037
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	5,792	3,981	2,195	2,315	3,816	2,430	4,907	0,945	21,397	0,000	7,813	13,722
T/°C	22,58	22,93	22,98	20,90	21,40	22,78	24,42	24,87	24,01	23,24	22,18	21,42
HR/%	26,47	33,90	35,96	31,72	39,18	42,17	38,11	37,94	36,37	37,32	35,18	31,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Heptano	27,051	0,872	0,603	0,169	0,169	1,664	1,938	2,930	1,134	1,764
1,2-Propanodiol						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,380	0,309	0,140	0,037	0,037	0,000	0,000	0,000	0,090	0,124
<i>n</i> -Decano	0,615	0,313	0,394	0,451	0,451	1,434	0,534	1,329	0,504	0,694
<i>n</i> -Undecano	0,360	0,236	0,397	0,575	0,575	0,058	0,155	0,295	0,146	0,172
$\beta$ -Terpineol				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,093	0,000
$\alpha$ -Terpineol				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	28,406	1,730	1,535	1,231	1,231	3,156	2,628	4,553	1,967	2,754
T/°C	22,66	21,67	22,09	22,24	22,98	23,40	22,47	21,92	22,63	23,57
HR/%	30,39	39,09	33,93	37,69	39,23	40,55	46,83	46,76	39,95	29,69
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano									0,000	0,000	0,028	0,077
<i>n</i> -Heptano	0,123	0,080	1,785	2,565	1,267	1,753	3,622	0,355	2,189	3,135	3,939	1,175
1,2-Propanodiol									1,588	4,261	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,487	0,094	0,000	0,000	0,042	0,067	0,043	0,193	0,038	0,092	0,345	0,038
<i>n</i> -Decano	1,742	0,447	0,218	0,372	0,152	0,439	0,611	0,536	0,420	0,478	0,701	0,167
<i>n</i> -Undecano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,119	0,244	0,345	0,078
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,067	0,071	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,333	0,311
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,141	0,000	0,000	0,036
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	2,352	0,620	2,071	3,008	1,461	2,260	4,276	1,085	4,496	8,211	6,690	1,881
T/°C	23,10	23,10	23,64	22,42	22,13	22,37	23,64	23,33	23,04	22,26	23,55	23,70
HR/%	24,93	25,51	27,66	32,47	37,33	39,66	38,48	40,57	39,97	43,26	36,61	31,61
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	30,553	25,680	68,990
<i>n</i> -Heptano	0,890	0,330	0,000	2,861	1,551	1,064	0,842	15,521	1,197	0,667	11,913	0,000
1,2-Propanodiol	0,048	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,300	0,000	0,003	0,287	0,057
<i>n</i> -Nonano	0,050	0,011	0,044	0,089	0,037	0,058	0,026	0,024	0,067	0,173	0,228	0,408
<i>n</i> -Decano	0,056	0,033	0,106	0,167	0,136	0,212	0,222	0,112	0,610	1,501	1,305	3,638
<i>n</i> -Undecano	0,131	0,000	0,052	0,000	0,000	0,000	0,249	0,000	0,393	0,690	0,878	1,196
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,017	0,131	0,000	0,047	0,054	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	1,197	0,374	0,219	3,249	1,724	1,381	1,393	16,958	2,282	33,586	40,291	74,289
T/°C	23,62	23,17	22,70	23,13	23,01	21,68	22,17	21,99	21,89	22,85	21,90	23,22
HR/%	32,65	29,79	27,20	33,17	36,90	44,76	45,74	42,76	41,26	42,95	37,05	34,44
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	15,873	1,212	0,000	1,921	1,472	0,307	0,750	0,286	0,663		0,802	2,193
<i>n</i> -Heptano	11,416	18,436	9,301	4,539	4,758	4,424	0,683	0,281	5,235		2,929	9,430
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,327	0,762	0,546	1,569	0,201	0,232	0,064	0,000	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,108	0,056	0,043	0,168	0,059	0,067	0,000	0,062	0,180		0,063	1,808
<i>n</i> -Decano	0,743	0,174	1,104	0,424	0,126	0,151	0,000	0,000	0,549		0,114	0,201
<i>n</i> -Undecano	0,658	0,325	0,117	0,296	0,054	0,039	0,000	0,000	0,587		0,000	0,000
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,256	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	29,382	20,965	11,111	8,916	6,670	5,221	1,497	0,629	7,214	0,000	3,907	13,632
T/°C	22,58	22,93	22,98	20,90	21,40	22,78	24,42	24,87	24,01	23,24	22,18	21,42
HR/%	26,47	33,90	35,96	31,72	39,18	42,17	38,11	37,94	36,37	37,32	35,18	31,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilcyclotrisiloxano	1,869	1,373	1,818	11,937	11,937	26,177	26,420	19,702	7,067	8,893
Octametilcyclotetrasiloxano	0,365	0,339	0,257	0,544	0,544	3,158	1,930	2,434	0,928	1,226
Decametilciclopentasiloxano	0,681	1,003	0,703	3,182	3,182	6,789	4,900	3,559	1,498	2,867
Dodecametilciclohexasiloxano	0,349	0,341	0,310	0,919	0,919	7,809	2,877	0,768	0,537	0,558
Ácido Undecanoico				1,801	1,801	7,658	0,000	0,000	0,000	5,267
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	3,264	3,057	3,089	18,382	18,382	51,590	36,128	26,463	10,030	18,811
T/°C	22,66	21,67	22,09	22,24	22,98	23,40	22,47	21,92	22,63	23,57
HR/%	30,39	39,09	33,93	37,69	39,23	40,55	46,83	46,76	39,95	29,69
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilcyclotrisiloxano	8,049	7,388	13,119	22,906	3,367	7,060	7,084	4,612	28,197	28,850	25,572	5,396
Octametilcyclotetrasiloxano	1,067	0,916	0,585	0,783	0,214	0,478	0,640	0,345	0,383	0,386	0,382	0,076
Decametilciclopentasiloxano	4,541	1,753	1,808	1,726	0,440	0,991	1,695	1,076	1,609	1,648	2,328	1,747
Dodecametilciclohexasiloxano	0,224	0,565	0,886	0,620	0,243	0,410	0,783	0,182	0,377	0,775	1,187	0,086
Ácido Undecanoico	11,405	12,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,970	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	25,285	22,664	16,397	26,035	4,264	8,939	10,202	6,216	30,566	31,658	34,439	7,304
T/°C	23,10	23,10	23,64	22,42	22,13	22,37	23,64	23,33	23,04	22,26	23,55	23,70
HR/%	24,93	25,51	27,66	32,47	37,33	39,66	38,48	40,57	39,97	43,26	36,61	31,61
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilcyclotrisiloxano	5,062	4,089	1,192	2,093	2,125	2,626	2,923	0,979	1,436	2,276	2,939	1,104
Octametilcyclotetrasiloxano	0,079	0,052	0,228	0,476	0,492	0,433	0,380	0,212	0,284	0,475	3,221	0,907
Decametilciclopentasiloxano	0,300	0,156	0,856	1,439	1,399	1,811	1,603	0,902	1,790	5,114	7,267	1,281
Dodecametilciclohexasiloxano	0,077	0,039	0,236	0,454	0,497	0,690	0,858	0,828	0,408	0,751	2,395	0,833
Ácido Undecanoico	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	5,527	4,337	2,513	4,462	4,513	5,560	5,764	2,921	3,918	8,616	15,822	4,124
T/°C	23,62	23,17	22,70	23,13	23,01	21,68	22,17	21,99	21,89	22,85	21,90	23,22
HR/%	32,65	29,79	27,20	33,17	36,90	44,76	45,74	42,76	41,26	42,95	37,05	34,44
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Activo Medieval muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	5,544
Hexametilcyclotrisiloxano	2,965	1,884	1,751	1,083	1,232	1,000	2,668	1,012	8,229		3,828	40,899
Octametilcyclotetrasiloxano	0,695	0,597	0,053	0,352	0,241	0,392	0,223	0,086	1,132		0,151	0,079
Decametilciclopentasiloxano	3,931	1,701	0,000	1,153	3,722	0,654	0,364	0,378	2,677		1,138	1,445
Dodecametilciclohexasiloxano	0,807	0,403	0,448	0,398	0,332	0,316	0,205	0,215	0,816		1,138	0,723
Ácido Undecanoico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	8,397	4,585	2,252	2,986	5,527	2,362	3,461	1,691	12,853	0,000	6,254	48,691
T/°C	22,58	22,93	22,98	20,90	21,40	22,78	24,42	24,87	24,01	23,24	22,18	21,42
HR/%	26,47	33,90	35,96	31,72	39,18	42,17	38,11	37,94	36,37	37,32	35,18	31,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Moderna

Activo Moderna muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno		0,836	1,780	1,702	1,597	0,971	0,214	0,000	1,535	0,578	0,782	0,687
Tolueno		6,874	4,057	3,626	3,883	8,883	0,320	1,558	3,983	3,031	8,507	2,281
Etilbenceno		0,637	0,969	0,843	0,827	1,631	0,062	0,304	1,160	0,822	0,986	0,363
<i>o</i> -Xileno		1,056	1,031	0,818	0,751	1,575	0,148	0,615	1,144	1,052	1,607	0,654
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno		1,054	0,692	0,493	0,711	0,531	0,070	0,682	1,125	0,556	0,774	0,603
Cumeno		0,013	0,073	0,070	0,061	0,088	0,577	0,000	0,000	0,076	0,490	0,233
<i>n</i> -Propilbenceno		0,038	0,099	0,163	0,197	0,445	0,019	0,048	0,172	0,222	0,501	0,116
3-Etiltolueno		0,104	0,184	0,278	0,100	0,800	0,038	0,060	0,516	1,409	0,869	0,222
Mesitileno		0,061	0,195	0,261	0,272	0,623	0,258	0,146	0,395	0,433	0,760	0,331
1,2,4-Trimetilbenceno		0,266	0,718	1,170	1,445	2,637	0,221	0,803	1,577	0,175	1,174	0,622
1,2,3-Trimetilbenceno		0,041	0,169	0,192	0,281	0,680	0,061	0,241	0,547	1,603	0,487	0,085
Cimeno		0,072	0,228	0,412	0,502	0,662	0,055	0,196	0,389	0,298	0,541	0,168
<i>n</i> -Butilbenceno		0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,990	0,701	0,021
4-Etil- <i>m</i> -Xileno		0,004	0,013	0,020	0,008	0,027	0,008	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno		0,011	0,021	0,024	0,032	0,060	0,008	0,000	0,000	0,059	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,000	11,065	10,240	10,074	10,665	19,613	2,060	4,664	12,543	12,305	18,180	6,387
T/°C	22,95	22,41	22,02	22,46	22,90	21,50	22,30	22,47	22,10	22,50	21,44	22,24
HR/%	34,64	30,57	27,28	32,95	37,01	43,85	44,79	41,85	41,10	43,34	37,18	36,24
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Moderna muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,000	0,311	0,240	1,867	0,338	0,568	0,591	0,217	44,003		8,284	10,110
Tolueno	3,818	10,551	0,305	3,436	2,698	1,783	0,913	0,477	11,484		3,947	1,809
Etilbenceno	1,056	0,519	0,406	0,586	0,524	0,708	0,557	0,158	4,644		20,778	6,391
<i>o</i> -Xileno	1,877	0,215	0,693	0,891	0,811	0,957	0,726	0,196	4,963		19,014	6,361
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	0,978	0,347	0,303	0,661	0,381	0,355	1,225	0,420	4,384		7,101	2,737
Cumeno	0,323	0,037	0,081	0,034	0,025	0,068	0,028	0,010	0,260		0,209	0,100
<i>n</i> -Propilbenceno	0,355	0,091	0,077	0,098	0,102	0,069	0,058	0,027	0,614		0,947	0,343
3-Etiltolueno	1,806	0,678	0,465	0,594	1,024	0,368	0,280	0,103	3,361		4,893	1,865
Mesitileno	0,771	0,149	0,133	0,122	0,212	0,103	0,092	0,034	0,779		1,400	0,491
1,2,4-Trimetilbenceno	2,133	0,654	0,495	0,542	0,928	0,369	0,403	0,178	2,993		5,244	2,109
1,2,3-Trimetilbenceno	0,527	0,249	0,196	0,142	0,315	0,152	0,817	0,000	0,671		0,769	0,315
Cimeno	0,503	0,170	0,120	0,230	0,216	0,135	0,114	0,018	0,829		0,141	0,236
<i>n</i> -Butilbenceno	0,316	0,089	0,086	0,028	0,139	0,074	0,066	0,000	0,000		0,234	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,051	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,183		0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,070	0,062	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,341
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	14,514	14,059	3,599	9,301	7,775	5,708	5,870	1,836	79,167	0,000	72,962	33,208
T/°C	21,77	22,39	22,77	21,43	21,65	23,09	25,16	25,00	24,08	23,69	22,23	20,98
HR/%	28,39	34,00	36,58	30,89	38,06	41,55	38,62	37,08	36,32	35,82	33,77	32,24
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Moderna muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal		0,140	1,027	0,885	1,272	2,380	0,000	0,000	0,000	1,220	0,000	0,425
Tetracloroetileno		0,232	0,047	0,009	0,005	0,088	0,000	0,000	0,128	0,227	0,729	0,046
1-Metoxi-2-propilacetato		0,000	0,625	1,193	2,944	2,714	0,167	1,421	0,614	1,884	0,000	0,683
$\alpha$ -Pino		1,465	2,051	3,356	3,667	4,330	0,003	1,108	1,231	4,709	1,518	0,877
Benzaldehído		0,110	0,262	0,441	1,059	1,256	0,013	0,510	0,248	0,000	0,000	0,000
Limoneno		1,024	1,086	3,252	4,875	6,799	0,453	0,508	0,631	0,368	1,248	1,027
Acetofenona		0,068	0,097	0,175	0,192	0,373	0,034	0,229	0,000	0,178	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal		0,324	0,906	1,235	2,102	0,000	0,065	0,828	0,704	0,833	0,144	0,057
Alcanfor		0,001	0,003	0,004	0,008	0,031	0,000	0,006	0,004	0,010	0,020	0,003
Decanal		0,145	0,309	0,589	1,052	1,181	0,070	0,282	0,273	0,372	0,000	0,000
Isobornilacetato		0,000	0,000	0,032	0,023	0,034	0,000	0,026	0,031	0,132	0,077	0,000
2-Fenilbutiramida		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,398	0,405	0,352	0,000	0,217
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,000	3,510	6,413	11,170	17,200	19,186	0,805	5,315	4,271	10,287	3,737	3,334
T/°C	22,95	22,41	22,02	22,46	22,90	21,50	22,30	22,47	22,10	22,50	21,44	22,24
HR/%	34,64	30,57	27,28	32,95	37,01	43,85	44,79	41,85	41,10	43,34	37,18	36,24
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Moderna muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	2,200	0,000	0,000	0,413	2,070	0,411	0,000	0,000	24,104		8,519	12,986
Tetracloroetileno	0,242	0,082	0,169	0,676	0,241	0,220	0,029	0,020	0,500		0,177	0,145
1-Metoxi-2-propilacetato	0,728	0,000	0,809	0,223	1,646	1,058	1,206	0,399	4,934		0,000	0,655
$\alpha$ -Pino	1,745	1,608	1,549	0,867	1,624	1,144	1,899	1,625	4,036		1,396	1,930
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Limoneno	2,815	1,819	1,835	1,667	3,403	1,011	2,009	2,112	5,326		1,740	2,600
Acetofenona	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,076	0,000	0,102	0,000		0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Nonanal	0,718	0,616	0,623	0,220	0,905	0,418	0,146	0,000	0,769		0,000	0,000
Alcanfor	0,007	0,004	0,014	0,006	0,010	0,012	0,009	0,010	0,009		0,009	0,005
Decanal	0,159	0,085	0,116	0,000	0,325	0,141	0,000	0,000	0,417		0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,039	0,427	0,196	0,202	0,100	0,000	0,224	0,207		0,204	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,137	0,220	0,059	0,125	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,000	0,000	0,285	0,239	0,000	0,021	0,000	0,245	0,026		0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	8,614	4,391	6,066	4,566	10,552	4,611	5,298	4,739	40,328	0,000	12,044	18,321
T/°C	21,77	22,39	22,77	21,43	21,65	23,09	25,16	25,00	24,08	23,69	22,23	20,98
HR/%	28,39	34,00	36,58	30,89	38,06	41,55	38,62	37,08	36,32	35,82	33,77	32,24
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Moderna muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,897	86,022	4,526
<i>n</i> -Heptano		0,000	3,205	0,000	3,430	0,337	0,000	22,651	1,905	0,743	0,000	1,437
1,2-Propanodiol		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,957	0,000	0,000	2,328	0,029
<i>n</i> -Nonano		0,032	0,116	0,089	0,045	1,019	0,036	0,038	0,077	0,118	0,546	0,085
<i>n</i> -Decano		0,054	0,190	0,192	0,242	0,460	0,030	0,159	0,701	2,481	4,528	0,770
<i>n</i> -Undecano		0,000	0,091	0,000	0,000	1,438	0,043	0,000	0,415	0,739	1,844	0,113
$\beta$ -Terpineol		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol		0,000	0,030	0,176	0,050	0,072	0,005	0,000	0,000	0,223	0,031	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,000	0,085	3,631	0,458	3,768	3,325	0,114	24,805	3,098	10,201	95,299	6,960
T/°C	22,95	22,41	22,02	22,46	22,90	21,50	22,30	22,47	22,10	22,50	21,44	22,24
HR/%	34,64	30,57	27,28	32,95	37,01	43,85	44,79	41,85	41,10	43,34	37,18	36,24
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Moderna muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	21,345	1,906	0,673	5,944	0,286	1,091	1,139	0,273	1,030		1,198	2,495
<i>n</i> -Heptano	12,447	25,503	14,579	7,760	12,979	9,466	1,997	1,022	8,673		5,577	12,504
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	1,151	0,996	1,679	0,212	0,636	0,000	0,040	0,000		0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,185	0,062	0,076	0,205	0,069	0,093	0,075	0,039	0,445		0,143	0,174
<i>n</i> -Decano	1,268	0,347	0,335	0,444	0,268	0,434	0,253	0,110	1,303		0,175	0,367
<i>n</i> -Undecano	0,812	0,417	0,365	0,532	0,496	0,348	0,220	0,000	0,952		0,000	0,731
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,215	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	36,271	29,417	17,025	16,563	14,308	12,069	3,684	1,483	12,402	0,000	7,092	16,271
T/°C	21,77	22,39	22,77	21,43	21,65	23,09	25,16	25,00	24,08	23,69	22,23	20,98
HR/%	28,39	34,00	36,58	30,89	38,06	41,55	38,62	37,08	36,32	35,82	33,77	32,24
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Activo Moderna muestreo 1h	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametildiclotrisiloxano		7,890	2,416	2,904	4,229	5,312	0,581	1,221	1,898	3,502	3,067	1,737
Octametildiclotetrasiloxano		0,129	1,355	3,527	7,370	4,803	0,205	0,265	0,976	0,472	1,181	0,794
Decametildiclopentasiloxano		1,219	2,993	8,662	11,214	10,871	0,178	1,177	3,829	7,431	2,503	1,300
Dodecametilciclohexasiloxano		0,134	0,879	2,866	3,858	3,530	0,085	0,192	0,920	1,289	0,443	0,388
Ácido Undecanoico		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,000	9,373	7,643	17,959	26,671	24,516	1,050	2,855	7,624	12,695	7,194	4,220
T/°C	22,95	22,41	22,02	22,46	22,90	21,50	22,30	22,47	22,10	22,50	21,44	22,24
HR/%	34,64	30,57	27,28	32,95	37,01	43,85	44,79	41,85	41,10	43,34	37,18	36,24
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Activo Moderna muestreo 1h	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
Hexametildiclotrisiloxano	3,061	2,449	2,499	1,522	3,601	1,687	3,801	2,242	11,372		6,074	4,887
Octametildiclotetrasiloxano	1,016	0,587	0,725	0,490	1,301	0,705	0,566	0,627	2,003		0,377	0,667
Decametildiclopentasiloxano	4,467	2,259	2,012	1,940	11,177	1,729	1,722	2,457	6,860		1,614	1,930
Dodecametilciclohexasiloxano	0,947	0,440	0,714	0,359	3,287	0,639	1,179	1,342	3,092		0,812	0,656
Ácido Undecanoico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,118	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	9,490	5,735	5,949	4,311	19,367	4,878	7,268	6,668	23,327	0,000	8,876	8,139
T/°C	21,77	22,39	22,77	21,43	21,65	23,09	25,16	25,00	24,08	23,69	22,23	20,98
HR/%	28,39	34,00	36,58	30,89	38,06	41,55	38,62	37,08	36,32	35,82	33,77	32,24
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

## Muestreos pasivos

### Protohistoria

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	16,094	14,359	0,000	0,255	0,000	1,134	0,108	0,000	10,681	0,000
Tolueno	68,844	79,022	34,019	15,202	30,891	12,721	53,809	85,387	58,446	78,912
Etilbenceno	8,509	14,591	11,077	6,619	11,693	8,037	13,130	26,953	18,890	20,517
<i>o</i> -Xileno	15,023	27,951	9,878	7,777	20,177	3,086	3,159	7,023	15,512	28,284
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	15,606	39,594	27,115	17,455	26,477	3,924	6,398	7,423	20,832	6,828
Cumeno	2,937	0,000	1,171	0,000	0,000	0,000	0,444	0,759	0,556	0,493
<i>n</i> -Propilbenceno	4,708	2,763	2,450	0,141	1,169	0,947	3,201	3,906	1,517	1,795
3-Etiltolueno	8,571	17,327	0,231	5,740	20,753	0,000	5,283	10,591	6,072	0,000
Mesitileno	7,174	5,073	3,579	0,786	2,354	1,877	3,505	4,696	2,644	2,128
1,2,4-Trimetilbenceno	16,335	31,827	15,557	5,741	11,843	11,364	22,943	24,512	12,239	10,344
1,2,3-Trimetilbenceno	4,407	5,681	3,503	4,063	3,077	3,046	4,478	2,710	1,284	1,158
Cimeno	0,000	1,254	0,493	0,416	0,815	0,707	1,511	3,955	3,138	3,003
<i>n</i> -Butilbenceno	0,201	0,087	0,000	0,106	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno					0,681	0,000	0,185	1,212	0,231	0,237
4-Etil- <i>o</i> -Xileno					0,980	1,303	1,028	1,385	1,260	1,097
ng/TVOCs	168,410	239,528	109,072	64,303	130,911	48,147	119,181	180,511	153,302	154,797
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,031	1,467	0,668	0,394	0,802	0,295	0,730	1,105	0,939	0,948
T/°C	22,86	22,35	21,91	22,58	23,15	23,68	22,77	21,84	21,30	22,46
HR/%	29,95	42,51	37,78	42,62	42,25	43,11	49,93	52,95	44,97	31,03
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria 7 días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	8,823	5,985	4,729	0,000	4,002	0,000	5,483	6,026	0,000	0,000	0,000	9,447
Tolueno	36,514	39,211	5,745	27,659	18,148	10,010	11,943	28,687	0,000	6,484	0,000	38,808
Etilbenceno	16,420	10,312	3,500	6,333	5,664	8,531	5,937	7,663	53,855	24,928	34,606	4,285
<i>o</i> -Xileno	19,667	5,949	3,789	4,574	2,966	4,121	3,192	4,061	6,535	5,596	16,399	5,031
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	4,270	2,212	2,638	3,192	2,178	2,357	4,589	5,644	9,436	6,963	0,893	2,603
Cumeno	0,648	0,000	0,044	0,000	0,000	0,098	0,152	0,121	0,880	2,432	2,001	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	4,416	2,068	0,368	0,697	0,445	0,484	0,729	0,550	36,431	20,970	63,361	0,523
3-Etiltolueno	29,813	11,556	5,530	7,070	5,466	10,827	9,394	4,872	7,399	6,249	3,346	1,117
Mesitileno	6,891	3,146	0,730	1,193	0,613	0,953	1,583	1,480	10,790	9,102	7,217	0,565
1,2,4-Trimetilbenceno	28,190	15,092	3,514	6,295	6,250	9,906	4,845	4,265	8,076	12,385	5,162	3,392
1,2,3-Trimetilbenceno	2,460	1,346	1,237	1,974	1,512	1,872	1,513	1,560	22,912	15,210	18,900	0,763
Cimeno	3,121	1,949	0,570	0,973	1,327	1,122	0,965	1,156	6,947	10,119	4,091	0,866
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,638	6,512	12,907	0,125
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,379	3,813	3,304	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,555	0,000	0,000	0,000	0,000	0,574	0,604	0,472	0,251
ng/TVOCs	161,232	98,869	32,394	60,516	48,571	50,280	50,324	66,083	172,852	131,369	172,660	67,774
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,987	0,605	0,198	0,371	0,297	0,308	0,308	0,405	1,059	0,804	1,057	0,415
T/°C	22,927	23,636	23,047	21,949	22,192	23,084	24,000	23,771	22,567	22,088	22,620	23,171
HR/%	26,953	25,653	29,119	34,635	37,626	39,479	40,041	42,004	43,327	45,819	41,155	33,043
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	9,339	6,734	14,587	14,983	16,756	11,371	7,815	2,291	13,067	9,049	21,259	16,404
Tolueno	34,876	24,572	77,186	66,164	65,111	31,088	29,433	150,573	37,042	41,806	42,288	85,761
Etilbenceno	4,000	2,801	12,325	14,040	11,580	6,353	11,003	17,503	37,504	8,095	10,072	22,153
<i>o</i> -Xileno	4,355	4,517	130,996	14,570	12,305	6,141	10,729	15,537	55,341	12,137	12,302	39,971
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	1,999	6,247	6,067	5,885	4,125	3,131	4,965	47,458	32,657	8,278	4,393	14,479
Cumeno	0,000	0,088	0,695	0,982	0,653	0,499	0,597	0,000	0,554	0,637	1,575	1,604
<i>n</i> -Propilbenceno	0,577	0,371	2,850	2,649	3,303	0,927	1,778	1,049	1,605	0,600	2,877	3,419
3-Etiltolueno	1,095	0,898	4,606	3,063	4,482	1,872	1,067	1,134	10,571	3,829	10,695	23,306
Mesitileno	0,696	0,635	4,047	3,836	4,732	2,378	2,775	2,034	2,867	2,093	3,586	6,351
1,2,4-Trimetilbenceno	4,069	2,735	14,846	14,807	18,561	10,259	12,073	7,786	11,467	6,811	9,800	21,007
1,2,3-Trimetilbenceno	0,758	0,433	3,319	3,523	4,275	2,535	2,395	2,078	2,499	1,647	2,875	4,911
Cimeno	0,857	0,672	4,587	5,489	4,259	2,960	1,957	1,832	2,109	0,572	2,311	5,359
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,308	0,965
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,078	0,114	0,367	0,259	0,131	0,200	0,000	0,110	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,357	0,101	0,678	0,397	0,477	0,207	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/ TVOCs	62,979	50,883	276,903	150,753	150,878	79,850	86,787	249,274	207,395	95,555	124,343	245,690
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,386	0,312	1,696	0,923	0,924	0,489	0,531	1,527	1,270	0,585	0,761	1,505
T/°C	22,98	22,70	22,63	22,99	22,98	21,92	21,65	21,60	21,53	22,44	21,84	21,34
HR/%	34,57	31,60	28,18	34,14	37,24	41,51	45,14	44,11	41,95	46,21	38,63	38,60
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	15,113	1,560	8,507	9,176	6,375	4,305	0,949	1,308	304,256	148,047	106,943	62,745
Tolueno	25,198	73,332	20,451	16,906	18,751	24,799	2,968	5,355	114,015	69,300	43,433	30,057
Etilbenceno	8,075	5,185	4,108	3,198	3,992	2,420	0,000	0,521	34,715	25,392	22,642	25,687
<i>o</i> -Xileno	16,607	8,847	7,749	4,929	6,907	6,705	0,000	1,226	35,451	28,771	27,070	36,406
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	5,784	7,147	5,917	4,993	4,771	3,626	0,304	1,230	27,753	22,273	14,385	14,424
Cumeno	0,748	0,058	2,187	0,226	0,649	0,375	0,000	0,000	1,288	1,288	1,127	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	1,061	0,605	0,846	0,514	1,738	0,403	0,000	0,000	0,853	2,708	1,287	0,190
3-Etiltolueno	12,875	2,380	2,211	1,736	7,653	1,578	0,000	0,000	7,166	12,213	8,421	2,336
Mesitileno	2,697	0,915	1,309	0,709	2,752	0,593	0,000	0,000	1,323	3,441	3,135	2,101
1,2,4-Trimetilbenceno	8,228	4,024	4,085	3,478	8,917	2,153	0,000	0,000	7,377	12,785	12,282	5,987
1,2,3-Trimetilbenceno	2,384	0,849	0,887	0,944	1,431	0,487	0,000	0,000	1,231	2,274	0,276	0,000
Cimeno	1,287	3,987	1,018	0,734	0,269	0,240	0,000	0,000	0,988	1,339	0,000	0,141
<i>n</i> -Butilbenceno	0,089	0,000	0,987	0,511	0,000	0,583	0,000	0,000	0,498	0,134	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,419	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,153	0,181	0,351	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	100,147	109,042	60,444	48,824	64,205	48,266	4,222	9,640	536,914	329,965	241,001	180,074
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,613	0,668	0,370	0,299	0,393	0,296	0,026	0,059	3,288	2,021	1,476	1,103
T/°C	20,42	21,96	22,06	21,45	21,69	23,06	24,91	24,57	24,00	23,08	21,87	19,81
HR/%	30,76	35,10	35,99	33,91	40,23	42,54	37,62	38,02	36,96	38,18	34,86	32,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal					62,404	28,242	40,551	52,303	30,403	0,000
Tetracloroetileno					0,503	1,747	4,025	5,029	2,766	3,799
1-Metoxi-2-propilacetato					18,127	33,977	65,398	29,226	75,944	0,000
$\alpha$ -Pino	9,594	21,232	11,168	5,995	11,526	10,227	16,385	22,714	16,345	8,212
Benzaldehído	0,000	0,000	8,027	1,281	4,925	4,820	5,777	6,756	17,856	16,861
Limoneno	1,426	17,383	3,681	1,730	2,594	3,095	6,079	19,590	26,072	11,397
Acetofenona	0,090	3,554	0,000	0,243	2,245	12,685	12,990	9,638	2,136	2,390
2-Butoxietilacetato					0,000	1,802	3,410	3,402	2,612	1,789
Nonanal	0,865	22,356	8,975	7,658	12,732	14,042	14,010	9,710	5,835	2,997
Alcanfor					0,000	0,027	0,092	0,109	0,036	0,044
Decanal	0,517	0,913	1,084	0,447	40,468	3,733	2,246	0,000	0,517	0,000
Isobornilacetato					0,000	1,956	0,950	2,675	0,800	0,000
2-Fenilbutiramida					0,000	71,660	83,218	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato					0,000	6,599	3,113	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	12,492	65,439	32,935	17,355	155,523	194,611	258,245	161,153	181,323	47,488
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,076	0,401	0,202	0,106	0,952	1,192	1,581	0,987	1,110	0,291
T/°C	22,86	22,35	21,91	22,58	23,15	23,68	22,77	21,84	21,30	22,46
HR/%	29,95	42,51	37,78	42,62	42,25	43,11	49,93	52,95	44,97	31,03
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	6,818	0,000	0,000	36,317	61,943	83,188	54,817	122,538	85,400	79,970	12,402
Tetracloroetileno	2,399	1,371	5,451	6,070	7,757	4,232	9,819	4,321	0,000	0,000	0,000	4,015
1-Metoxi-2-propilacetato	0,000	0,000	5,268	9,631	7,185	15,003	24,351	16,403	69,742	76,103	172,759	0,749
$\alpha$ -Pino	15,463	39,794	6,936	9,948	9,766	13,093	11,115	22,890	1,571	2,057	2,449	8,493
Benzaldehído	0,000	0,350	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	8,810	15,562	7,509	1,486
Limoneno	31,093	15,477	61,710	150,391	13,625	4,276	2,289	3,829	3,278	3,345	3,670	3,752
Acetofenona	0,000	7,646	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,941
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,662	5,022	3,521	0,000
Nonanal	0,841	3,551	6,806	10,757	7,565	6,506	7,208	2,380	2,439	4,529	4,817	0,711
Alcanfor	0,015	0,000	0,003	0,011	0,013	0,019	0,052	0,036	0,326	0,210	0,072	0,009
Decanal	0,000	0,000	1,121	4,193	1,166	0,562	0,408	0,000	1,803	0,440	1,398	0,427
Isobornilacetato	0,239	0,357	0,000	0,283	0,000	0,104	0,339	0,000	2,316	1,722	1,745	0,304
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,040
Diisobutilftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,092
ng/TVOCs	50,049	75,363	87,295	191,284	83,394	105,739	138,769	104,678	215,486	194,390	277,910	34,421
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,306	0,462	0,535	1,171	0,511	0,648	0,850	0,641	1,320	1,190	1,702	0,211
T/°C	22,93	23,64	23,05	21,95	22,19	23,08	24,00	23,77	22,57	22,09	22,62	23,17
HR/%	26,95	25,65	29,12	34,64	37,63	39,48	40,04	42,00	43,33	45,82	41,15	33,04
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	17,973	0,000	1,478	4,259	3,733	2,797	0,000	60,948	0,000	0,000	0,000	0,000
Tetracloroetileno	5,827	2,583	0,190	0,130	0,405	0,306	0,302	0,165	0,586	6,493	3,753	19,436
1-Metoxi-2-propilacetato	0,781	0,000	3,256	4,255	6,199	7,398	1,968	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Pino	4,507	6,945	32,381	83,908	25,858	16,713	4,235	5,596	7,292	4,726	0,000	9,284
Benzaldehído	2,861	0,939	6,242	12,378	8,710	5,349	7,942	4,032	0,222	0,000	0,000	0,000
Limoneno	12,913	9,579	41,608	49,507	44,780	30,487	8,384	8,083	5,069	13,990	19,309	30,617
Acetofenona	1,260	0,556	3,527	4,993	2,800	2,660	2,966	1,700	0,323	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	1,163	1,375	9,188	11,799	10,772	7,248	6,572	5,036	2,114	0,000	1,068	0,000
Alcanfor	0,010	0,007	0,035	0,050	0,058	0,028	0,024	0,099	0,131	0,087	0,108	0,056
Decanal	0,654	0,317	6,554	8,254	6,409	4,403	3,902	1,994	0,000	0,000	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,000	0,057	0,088	0,056	0,110	1,041	1,922	1,241	1,789	0,505
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,999	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,376	1,616	2,479	0,000	0,360	5,112
ng/ TVOCs	48,948	22,301	104,460	179,589	109,811	77,445	40,782	90,310	20,141	26,537	26,387	65,009
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,300	0,137	0,640	1,100	0,672	0,474	0,250	0,553	0,123	0,163	0,162	0,398
T/°C	22,98	22,70	22,63	22,99	22,98	21,92	21,65	21,60	21,53	22,44	21,84	21,34
HR/%	34,57	31,60	28,18	34,14	37,24	41,51	45,14	44,11	41,95	46,21	38,63	38,60
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	10,417	0,054	0,000	0,000	11,216	0,000	0,000	151,263	102,304	25,311	15,504
Tetracloroetileno	4,500	4,906	3,296	2,347	1,806	1,839	0,000	0,000	1,809	3,778	2,663	1,523
1-Metoxi-2-propilacetato	0,000	0,219	1,177	1,412	0,889	0,563	0,000	0,000	50,700	29,444	18,479	0,000
$\alpha$ -Pino	1,648	3,846	5,430	4,030	2,216	1,401	0,693	3,112	12,255	9,069	4,406	1,781
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Limoneno	9,669	9,484	10,716	9,239	9,241	8,377	0,000	6,861	26,751	30,218	25,027	8,528
Acetofenona	3,654	0,000	0,000	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,221	0,000	1,049	1,570	0,568	0,000	0,000	0,000	12,473	0,000	0,000	0,000
Alcanfor	0,024	0,020	0,046	0,060	0,063	0,044	0,000	0,000	0,133	0,102	0,024	0,006
Decanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,219	0,000	0,000	8,698	0,000	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,464	7,910	7,871	3,453	3,495	0,000	0,000	1,352	0,893	3,351	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	1,971	0,022	2,331	0,137	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,391	0,651	0,000
ng/TVOCs	21,687	29,380	32,010	26,720	18,236	27,155	0,693	9,973	265,435	176,200	79,912	27,342
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,133	0,180	0,196	0,164	0,112	0,166	0,004	0,061	1,625	1,079	0,489	0,167
T/°C	20,42	21,96	22,06	21,45	21,69	23,06	24,91	24,57	24,00	23,08	21,87	19,81
HR/%	30,76	35,10	35,99	33,91	40,23	42,54	37,62	38,02	36,96	38,18	34,86	32,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano						0,000	0,137	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Heptano	0,000	4,302	4,831	0,160	0,000	7,179	0,035	0,000	0,000	14,252
1,2-Propanodiol						7,268	19,457	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	0,702	2,490	8,041	12,313	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	8,100	3,292	3,623	6,588	0,268	1,403	2,192	2,078	2,460	2,183
<i>n</i> -Decano	9,839	10,715	5,582	6,859	11,133	9,766	18,216	17,556	11,260	7,113
<i>n</i> -Undecano	3,857	5,146	3,314	4,660	2,736	3,447	5,518	5,407	1,035	0,000
$\beta$ -Terpineol					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	21,797	24,158	19,841	26,308	26,450	29,062	45,554	25,041	14,755	23,548
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,133	0,148	0,122	0,161	0,162	0,178	0,279	0,153	0,090	0,144
T/°C	22,86	22,35	21,91	22,58	23,15	23,68	22,77	21,84	21,30	22,46
HR/%	29,95	42,51	37,78	42,62	42,25	43,11	49,93	52,95	44,97	31,03
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,541	18,508	19,789	1,459
<i>n</i> -Heptano	5,238	8,428	59,125	34,295	17,521	91,825	26,448	29,095	0,000	0,000	0,000	12,293
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	117,288	161,234	118,750	0,000
<i>n</i> -Octano	2,132	0,000	2,795	41,299	0,000	0,000	0,000	0,000	209,199	212,683	966,207	0,000
<i>n</i> -Nonano	4,617	2,237	0,942	0,935	0,797	0,979	0,554	0,644	12,244	11,935	35,917	0,733
<i>n</i> -Decano	15,048	7,026	3,791	6,552	4,222	8,828	8,967	6,697	54,343	82,958	33,960	2,417
<i>n</i> -Undecano	2,082	1,619	1,546	3,080	1,373	1,849	1,282	1,039	4,432	0,415	1,880	1,093
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	367,307	587,415	433,321	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	29,117	19,309	68,199	86,159	23,913	103,480	37,251	37,475	770,353	1075,148	1609,824	17,995
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,178	0,118	0,418	0,528	0,146	0,634	0,228	0,229	4,718	6,584	9,858	0,110
T/°C	22,93	23,64	23,05	21,95	22,19	23,08	24,00	23,77	22,57	22,09	22,62	23,17
HR/%	26,95	25,65	29,12	34,64	37,63	39,48	40,04	42,00	43,33	45,82	41,15	33,04
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	1,337	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	238,863	850,884	0,000
<i>n</i> -Heptano	8,630	7,498	12,147	27,445	8,421	0,000	8,721	11,043	21,130	6,566	0,000	29,299
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,135	0,000	0,219	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,626	1,524	14,718	1,989
<i>n</i> -Nonano	1,005	1,207	3,523	4,041	1,368	0,795	1,366	0,569	0,764	1,151	11,860	5,389
<i>n</i> -Decano	2,148	1,597	4,030	6,387	5,875	4,047	4,403	3,677	4,243	1,997	13,794	17,797
<i>n</i> -Undecano	2,582	0,000	0,000	2,561	0,000	1,047	1,201	0,776	1,009	0,000	6,897	11,862
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,178	0,492	0,000	0,206	0,349	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/ TVOCs	15,836	10,480	20,412	40,435	15,871	6,238	15,691	16,065	30,773	250,101	898,153	66,336
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,097	0,064	0,125	0,248	0,097	0,038	0,096	0,098	0,188	1,532	5,500	0,406
T/°C	22,98	22,70	22,63	22,99	22,98	21,92	21,65	21,60	21,53	22,44	21,84	21,34
HR/%	34,57	31,60	28,18	34,14	37,24	41,51	45,14	44,11	41,95	46,21	38,63	38,60
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	126,737	3,743	48,245	7,409	62,500	1,220	1,368	1,053	9,075	15,589	19,214	3,053
<i>n</i> -Heptano	8,491	14,908	16,757	13,575	21,120	10,610	0,869	0,633	36,375	26,631	21,175	7,392
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	1,557	0,634	1,696	1,219	16,636	3,639	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	2,154	1,035	1,721	1,813	1,021	0,878	0,000	0,000	1,289	1,554	0,917	0,000
<i>n</i> -Decano	4,272	2,061	6,110	3,605	2,855	3,152	0,000	0,000	4,379	4,236	0,498	0,000
<i>n</i> -Undecano	2,307	0,940	1,299	1,774	0,248	0,583	0,000	0,000	0,000	0,767	0,000	0,000
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,121	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	145,518	23,321	75,828	29,395	104,381	20,082	2,237	1,685	54,240	48,777	41,804	10,445
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,891	0,143	0,464	0,180	0,639	0,123	0,014	0,010	0,332	0,299	0,256	0,064
T/°C	20,42	21,96	22,06	21,45	21,69	23,06	24,91	24,57	24,00	23,08	21,87	19,81
HR/%	30,76	35,10	35,99	33,91	40,23	42,54	37,62	38,02	36,96	38,18	34,86	32,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	4,414	31,218	37,106	118,711	147,735	200,354	310,669	219,055	187,409	109,296
Octametilciclotetrasiloxano	1,398	20,726	7,491	28,700	30,779	27,143	33,926	38,441	32,101	19,288
Decametilmiclopentasiloxano	2,561	50,391	26,981	81,089	46,116	87,187	101,270	53,754	49,214	31,726
Dodecametilciclohexasiloxano	1,479	20,856	16,416	128,734	68,674	95,584	111,756	32,469	21,849	23,655
Ácido Undecanoico					0,000	0,053	0,008	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	9,852	123,192	87,995	357,234	293,304	410,320	557,630	343,718	290,573	183,965
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,060	0,754	0,539	2,188	1,796	2,513	3,415	2,105	1,779	1,127
T/°C	22,86	22,35	21,91	22,58	23,15	23,68	22,77	21,84	21,30	22,46
HR/%	29,95	42,51	37,78	42,62	42,25	43,11	49,93	52,95	44,97	31,03
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	80,306	110,435	234,422	203,222	87,024	83,300	72,970	69,381	52,798	50,734	116,110	102,238
Octametilciclotetrasiloxano	13,719	18,106	10,165	9,981	5,895	6,287	6,782	5,950	3,177	4,521	3,206	2,098
Decametilciclopentasiloxano	29,060	30,677	48,364	40,388	14,194	13,421	27,881	31,947	0,633	0,590	0,783	9,719
Dodecametilciclohexasiloxano	23,422	26,350	25,339	19,237	16,216	11,435	15,733	9,687	0,159	0,782	0,828	4,312
Ácido Undecanoico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	73,010	41,711	43,749	0,065
ng/TVOCs	146,506	185,569	318,291	272,829	123,328	114,443	123,365	116,964	129,776	98,338	164,676	118,431
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,897	1,136	1,949	1,671	0,755	0,701	0,755	0,716	0,795	0,602	1,008	0,725
T/°C	22,93	23,64	23,05	21,95	22,19	23,08	24,00	23,77	22,57	22,09	22,62	23,17
HR/%	26,95	25,65	29,12	34,64	37,63	39,48	40,04	42,00	43,33	45,82	41,15	33,04
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	127,609	89,338	36,603	45,127	39,549	13,388	25,411	28,467	22,098	24,309	55,667	35,576
Octametilciclotetrasiloxano	2,565	1,822	10,880	12,685	9,904	3,393	6,157	8,190	6,737	8,195	16,724	14,504
Decametilciclopentasiloxano	10,277	8,726	50,358	34,255	38,515	19,007	17,452	23,091	18,435	29,370	49,987	89,888
Dodecametilciclohexasiloxano	4,068	3,157	14,247	12,675	10,708	4,532	4,723	5,512	7,008	7,121	18,236	14,199
Ácido Undecanoico	0,091	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/ TVOCs	144,610	103,042	112,087	104,742	98,676	40,321	53,743	65,260	54,278	68,995	140,614	154,167
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,886	0,631	0,686	0,641	0,604	0,247	0,329	0,400	0,332	0,423	0,861	0,944
T/°C	22,98	22,70	22,63	22,99	22,98	21,92	21,65	21,60	21,53	22,44	21,84	21,34
HR/%	34,57	31,60	28,18	34,14	37,24	41,51	45,14	44,11	41,95	46,21	38,63	38,60
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Protohistoria muestreo 7 días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	20,352	24,306	24,349	27,738	14,099	18,090	21,409	18,132	99,066	89,064	29,004	29,642
Octametilciclotetrasiloxano	8,364	8,353	8,777	9,474	5,195	6,575	4,135	4,584	17,368	13,184	3,205	3,092
Decametilciclopentasiloxano	34,172	30,699	28,547	26,612	15,761	11,819	8,104	16,135	41,106	43,591	30,011	21,028
Dodecametilciclohexasiloxano	8,565	9,110	0,515	3,754	1,932	2,186	4,443	4,588	14,818	15,224	9,720	7,848
Ácido Undecanoico	0,000	0,155	0,203	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	71,454	72,623	62,392	67,577	36,988	38,671	38,091	43,438	172,358	161,063	71,940	61,609
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,438	0,445	0,382	0,414	0,227	0,237	0,233	0,266	1,055	0,986	0,441	0,377
T/°C	20,42	21,96	22,06	21,45	21,69	23,06	24,91	24,57	24,00	23,08	21,87	19,81
HR/%	30,76	35,10	35,99	33,91	40,23	42,54	37,62	38,02	36,96	38,18	34,86	32,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Egipto

Pasivo Egipto 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	45,311	15,474	0,000	0,161	0,000	0,694	0,031	0,000	11,350	0,000
Tolueno	151,691	86,012	52,355	14,015	27,631	18,456	54,696	84,313	331,336	82,183
Etilbenceno	14,624	12,328	12,932	6,251	9,448	7,179	11,939	25,052	18,354	20,977
<i>o</i> -Xileno	19,646	9,351	10,993	6,910	11,338	3,114	2,778	6,041	14,621	29,809
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	25,081	32,036	31,394	16,203	24,255	4,129	6,219	8,447	11,777	7,157
Cumeno	0,000	0,000	0,297	0,000	0,460	0,000	0,308	0,694	0,517	0,498
<i>n</i> -Propilbenceno	4,679	3,209	1,995	0,468	0,992	0,780	3,900	3,813	1,498	1,779
3-Etiltolueno	12,939	14,181	0,233	5,443	0,628	0,000	5,051	12,703	9,198	0,000
Mesitileno	3,300	3,885	3,070	1,363	2,560	1,263	3,309	4,419	2,054	2,042
1,2,4-Trimetilbenceno	23,459	27,555	18,440	6,095	11,153	4,633	24,632	27,727	12,445	10,784
1,2,3-Trimetilbenceno	5,891	6,437	4,016	5,036	5,626	2,049	3,389	2,611	1,007	1,088
Cimeno	0,000	0,503	0,481	0,306	0,356	0,646	5,554	3,432	2,435	3,147
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,560	0,000	0,079	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno				0,000	0,926	0,000	0,173	1,484	0,239	0,224
4-Etil- <i>o</i> -Xileno				0,000	0,636	0,000	1,102	1,177	0,951	1,015
ng/TVOCs	306,620	211,530	136,206	62,330	96,010	42,944	123,081	181,912	417,781	160,703
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,878	1,295	0,834	0,382	0,588	0,263	0,754	1,114	2,558	0,984
T/°C	22,10	22,40	21,89	22,57	22,68	23,01	22,53	22,10	21,97	22,58
HR/%	28,63	40,54	36,06	39,62	39,23	40,48	46,34	48,42	41,75	31,71
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Egipto 7 días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	21,386	6,407	4,844	0,000	4,175	0,000	5,968	5,368	0,000	0,000	0,000	10,396
Tolueno	36,009	37,711	6,194	30,535	18,429	9,629	12,977	18,441	0,000	0,000	0,000	45,702
Etilbenceno	19,516	13,460	4,813	6,330	7,227	6,231	5,158	6,103	24,539	34,179	32,927	4,696
<i>o</i> -Xileno	22,869	16,542	4,103	4,446	3,495	3,531	3,026	3,572	5,865	7,766	17,515	5,215
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	4,711	3,009	3,154	3,558	2,171	2,453	5,504	6,693	4,968	9,389	3,799	2,859
Cumeno	0,910	0,360	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,166	0,721	3,359	2,940	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	6,052	2,475	0,273	0,842	0,471	0,430	0,667	0,691	25,391	28,427	70,459	0,588
3-Etiltolueno	40,720	19,670	5,752	6,544	6,472	9,073	8,742	5,184	6,397	5,736	3,741	1,058
Mesitileno	9,613	4,228	0,799	1,286	0,613	0,784	1,137	1,284	6,542	31,690	9,466	0,664
1,2,4-Trimetilbenceno	37,989	19,455	4,183	6,938	7,382	8,566	4,429	4,352	4,512	15,034	5,007	4,023
1,2,3-Trimetilbenceno	3,206	1,866	1,404	2,069	1,367	1,400	1,368	1,341	11,474	10,763	10,546	0,927
Cimeno	1,810	2,209	0,695	0,898	1,815	1,281	1,470	1,440	4,679	12,183	5,803	0,990
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,240	10,428	14,600	0,096
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,079	0,000	0,000	0,000	0,000	3,651	4,017	3,808	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,222	0,000	0,000	0,000	0,000	0,163	0,688	0,476	0,273
ng/TVOCs	204,790	127,392	36,256	63,749	53,618	43,379	50,444	54,634	103,141	173,659	181,089	77,487
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,254	0,780	0,222	0,390	0,328	0,266	0,309	0,335	0,632	1,063	1,109	0,475
T/°C	22,45	22,32	22,20	21,29	21,46	22,83	24,00	23,56	22,00	22,15	22,80	23,10
HR/%	26,04	25,44	28,87	33,52	37,87	38,44	37,87	40,57	44,43	44,74	40,47	32,49
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Egipto 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	9,270	7,097	14,969	14,228	15,134	9,151	8,465	0,287	9,585	9,195	14,838	12,916
Tolueno	34,427	28,155	82,981	79,708	55,133	25,463	28,419	20,374	35,972	56,666	39,788	79,417
Etilbenceno	3,763	3,300	12,482	13,566	9,844	4,832	11,121	5,676	68,814	8,084	13,209	22,884
<i>o</i> -Xileno	3,919	4,422	129,723	14,506	10,994	5,209	10,779	6,008	101,616	13,156	16,543	37,194
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	1,880	4,081	6,349	6,217	4,198	3,665	5,458	3,764	77,401	7,985	7,112	14,677
Cumeno	0,000	0,000	0,684	0,687	0,804	0,374	0,198	0,000	1,201	1,168	3,956	1,401
<i>n</i> -Propilbenceno	0,534	0,407	2,832	2,932	2,852	0,982	1,043	0,638	2,269	0,703	5,898	3,212
3-Etiltolueno	1,296	1,204	5,573	3,377	5,576	0,993	3,142	1,496	8,695	3,224	21,896	21,824
Mesitileno	0,683	0,326	3,959	3,124	4,017	1,650	2,722	1,097	3,717	2,594	6,544	5,780
1,2,4-Trimetilbenceno	3,941	3,330	16,591	15,868	17,449	9,101	13,295	6,764	13,674	6,373	17,906	19,081
1,2,3-Trimetilbenceno	0,765	0,623	3,044	3,437	4,066	1,831	3,242	2,194	2,317	1,808	6,245	4,982
Cimeno	0,918	0,954	4,903	4,866	3,335	2,209	1,669	1,359	1,499	0,431	3,296	4,374
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,024	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,505	1,403
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,145	0,131	0,236	0,166	0,115	0,097	0,000	0,077	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,414	0,126	0,367	0,406	0,426	0,107	0,000	0,000	0,152	0,000	0,000	0,000
ng/ TVOCs	61,811	54,170	284,613	163,189	133,993	65,682	89,649	49,655	326,988	111,385	160,737	229,146
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,379	0,332	1,743	0,999	0,821	0,402	0,549	0,304	2,002	0,682	0,984	1,403
T/°C	22,74	22,57	22,35	22,24	22,69	22,09	22,29	22,38	22,00	22,23	21,41	21,33
HR/%	35,11	32,35	28,45	34,17	37,44	39,74	42,14	40,81	39,31	41,28	36,79	37,00
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Egipto 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	8,471	2,273	9,205	10,620	6,070	3,958	1,210	1,702	215,989	72,188	92,801	60,900
Tolueno	27,042	62,561	21,788	17,346	13,148	27,629	5,029	9,946	63,621	65,946	44,383	30,559
Etilbenceno	8,813	6,712	4,590	3,085	3,171	2,324	0,000	0,289	11,158	20,639	26,197	64,842
<i>o</i> -Xileno	16,940	9,982	6,945	4,787	5,129	6,335	0,000	0,799	16,930	23,779	30,471	70,017
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	7,648	3,408	6,424	4,170	3,145	4,137	0,000	2,194	10,465	19,500	13,408	24,326
Cumeno	1,231	0,000	0,200	0,089	0,432	0,399	0,000	0,000	0,547	1,340	1,345	0,633
<i>n</i> -Propilbenceno	1,114	0,698	0,629	0,316	0,961	0,402	0,000	0,000	2,330	2,691	1,551	2,077
3-Etiltolueno	8,905	4,939	2,986	1,786	4,204	1,462	0,000	0,000	0,529	13,424	8,546	12,702
Mesitileno	3,629	1,311	0,961	0,628	1,582	0,314	0,000	0,000	0,561	3,120	3,438	3,588
1,2,4-Trimetilbenceno	10,588	5,943	4,835	3,211	5,007	1,852	0,000	0,000	2,465	15,935	13,188	14,227
1,2,3-Trimetilbenceno	2,583	1,497	1,132	0,405	0,711	0,212	0,000	0,000	0,000	1,900	0,000	1,634
Cimeno	1,682	1,294	0,873	0,582	0,064	0,046	0,000	0,000	0,000	0,941	0,000	0,209
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,620	0,617	0,123	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,665	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,630	0,375	0,686	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,220	0,429	0,330	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	98,645	102,089	61,989	48,163	43,624	49,070	6,239	14,929	324,594	243,069	235,327	285,713
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,604	0,625	0,380	0,295	0,267	0,300	0,038	0,091	1,988	1,489	1,441	1,750
T/°C	21,05	21,70	22,04	21,61	21,72	22,03	23,93	23,73	23,00	22,30	21,72	20,90
HR/%	30,95	36,28	41,85	37,61	40,86	42,45	37,49	37,95	36,65	37,84	36,02	34,66
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Egipto 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal				0,000	108,138	38,144	68,908	64,317	44,355	0,000
Tetracloroetileno				0,000	0,000	0,849	6,203	4,927	2,725	3,968
1-Metoxi-2-propilacetato					34,868	29,694	67,300	36,844	78,023	0,000
$\alpha$ -Pino	17,144	18,656	18,125	8,003	10,600	11,813	20,163	23,331	17,770	10,893
Benzaldehído	0,000	0,000	8,677	1,193	8,660	3,755	6,165	7,781	17,200	14,905
Limoneno	4,651	13,714	4,885	1,858	2,330	15,403	6,838	21,329	24,373	15,391
Acetofenona	0,697	4,008	0,000	0,477	3,143	13,364	12,963	14,758	5,202	2,223
2-Butoxietilacetato				0,000	0,000	1,530	3,078	2,608	13,868	1,833
Nonanal	4,217	20,600	12,130	9,056	13,862	14,111	15,364	10,614	6,461	2,999
Alcanfor				0,000	0,000	0,052	0,111	0,101	0,055	0,035
Decanal	0,729	0,506	2,270	0,032	3,820	3,774	2,809	0,000	1,555	0,000
Isobornilacetato				0,000	0,000	0,344	0,000	1,842	1,476	0,000
2-Fenilbutiramida				0,000	0,000	44,679	51,051	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato				0,000	0,000	3,208	1,727	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	27,439	57,484	46,086	20,620	185,420	180,721	262,680	188,452	213,062	52,247
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,168	0,352	0,282	0,126	1,135	1,107	1,609	1,154	1,305	0,320
T/°C	22,10	22,40	21,89	22,57	22,68	23,01	22,53	22,10	21,97	22,58
HR/%	28,63	40,54	36,06	39,62	39,23	40,48	46,34	48,42	41,75	31,71
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Egipto 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	18,335	0,000	0,000	47,481	31,475	116,493	67,907	0,000	201,400	105,936	20,088
Tetracloroetileno	2,410	1,440	4,645	5,829	8,613	4,424	6,413	3,672	0,000	0,000	0,000	4,342
1-Metoxi-2-propilacetato	0,000	0,000	7,078	9,685	9,163	14,447	25,645	19,696	62,419	75,484	200,146	1,049
$\alpha$ -Pino	28,212	83,883	10,076	12,130	10,705	12,486	11,852	21,632	0,936	2,739	1,088	9,953
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,485	19,925	7,117	2,126
Limoneno	28,471	20,369	107,461	165,161	12,276	7,363	11,375	12,244	2,939	3,477	4,512	29,877
Acetofenona	2,044	0,000	0,000	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,170
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,857	6,248	4,884	0,000
Nonanal	2,120	5,407	8,384	11,258	9,511	4,998	5,916	1,864	2,766	5,317	6,262	0,999
Alcanfor	0,019	0,009	0,017	0,020	0,022	0,025	0,050	0,041	0,296	0,377	0,102	0,011
Decanal	0,000	0,714	1,970	3,575	2,707	0,753	0,890	0,000	0,000	1,247	1,714	0,377
Isobornilacetato	0,000	0,348	0,000	0,713	0,000	0,000	0,000	0,000	2,843	2,783	1,222	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,101
Diisobutilftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	63,275	130,504	139,632	208,771	100,478	75,971	178,633	127,055	79,542	318,997	332,984	70,095
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,387	0,799	0,855	1,278	0,615	0,465	1,094	0,778	0,487	1,953	2,039	0,429
T/°C	22,45	22,32	22,20	21,29	21,46	22,83	24,00	23,56	22,00	22,15	22,80	23,10
HR/%	26,04	25,44	28,87	33,52	37,87	38,44	37,87	40,57	44,43	44,74	40,47	32,49
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Egipto 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	20,043	0,000	3,251	3,945	9,760	4,196	5,775	32,808	0,000	0,000	0,000	0,000
Tetracloroetileno	4,783	2,731	0,153	0,089	0,368	0,220	0,259	0,000	0,512	9,190	4,710	19,024
1-Metoxi-2-propilacetato	0,909	0,000	3,037	3,344	7,101	7,006	2,263	6,582	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Pino	4,365	8,050	40,253	89,353	25,209	11,492	5,937	3,043	5,496	4,673	0,000	9,901
Benzaldehído	2,339	1,025	4,982	8,378	6,036	3,766	5,217	2,218	0,172	0,000	0,000	0,000
Limoneno	16,412	15,253	45,632	56,170	36,013	16,670	11,454	3,345	4,292	4,804	13,742	33,180
Acetofenona	1,220	0,664	3,111	2,856	2,693	1,102	2,157	1,118	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	1,307	2,286	11,341	10,952	11,201	5,864	8,973	6,015	1,820	0,000	3,322	0,000
Alcanfor	0,012	0,014	0,041	0,056	0,053	0,021	0,022	0,151	0,054	0,070	0,086	0,063
Decanal	0,920	1,114	7,646	7,073	6,222	3,262	4,151	2,103	0,000	0,000	0,619	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,000	0,179	0,216	0,118	0,024	2,270	0,000	0,493	0,376	0,312
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,537	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,733	0,000	1,175	0,000	1,047	0,000
ng/ TVOCs	52,847	31,137	119,446	182,395	104,873	53,717	49,963	59,652	13,522	19,231	23,902	62,480
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,324	0,191	0,731	1,117	0,642	0,329	0,306	0,365	0,083	0,118	0,146	0,383
T/°C	22,74	22,57	22,35	22,24	22,69	22,09	22,29	22,38	22,00	22,23	21,41	21,33
HR/%	35,11	32,35	28,45	34,17	37,44	39,74	42,14	40,81	39,31	41,28	36,79	37,00
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Egipto 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	11,811	2,596	0,000	0,000	0,721	0,000	0,000	28,146	119,985	27,788	62,554
Tetracloroetileno	5,607	4,314	2,650	2,742	2,354	1,941	0,000	0,111	2,046	3,643	2,574	0,797
1-Metoxi-2-propilacetato	0,000	0,547	2,744	1,018	0,000	0,864	0,000	0,000	0,000	33,160	7,199	0,000
$\alpha$ -Pino	3,864	4,534	6,342	3,900	1,550	1,930	0,000	2,446	5,492	10,061	4,294	4,342
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Limoneno	14,426	13,620	12,601	6,169	3,278	3,185	0,000	2,662	11,242	28,883	18,063	19,840
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,000	1,084	1,386	1,617	0,335	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Alcanfor	0,042	0,038	0,074	0,071	0,028	0,040	0,000	0,000	0,000	0,077	0,000	0,051
Decanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,146	0,190	1,645	1,316	0,422	0,271	0,000	0,000	0,000	4,835	0,000	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	1,611	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	1,051	0,171	0,318	0,532	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,295
ng/TVOCs	25,136	36,309	30,356	17,365	9,578	8,953	0,000	5,219	46,926	200,646	59,918	87,880
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,154	0,222	0,186	0,106	0,059	0,055	0,000	0,032	0,287	1,229	0,367	0,538
T/°C	21,05	21,70	22,04	21,61	21,72	22,03	23,93	23,73	23,00	22,30	21,72	20,90
HR/%	30,95	36,28	41,85	37,61	40,86	42,45	37,49	37,95	36,65	37,84	36,02	34,66
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Egipto 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Heptano	13,098	5,623	12,319	0,150	0,000	5,836	0,189	0,000	0,000	9,587
1,2-Propanodiol						4,423	10,556	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	1,342	0,357	1,238	14,358	21,649	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	5,867	2,837	2,323	0,994	0,000	0,777	1,853	1,595	1,355	1,924
<i>n</i> -Decano	12,208	10,483	7,754	7,907	12,273	7,257	13,773	13,765	8,064	6,607
<i>n</i> -Undecano	6,068	4,206	3,490	5,291	5,641	3,981	5,559	5,949	2,542	0,000
$\beta$ -Terpineol				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	38,583	23,506	27,124	28,699	39,564	22,275	31,930	21,309	11,962	18,119
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,236	0,144	0,166	0,176	0,242	0,136	0,196	0,130	0,073	0,111
T/°C	22,10	22,40	21,89	22,57	22,68	23,01	22,53	22,10	21,97	22,58
HR/%	28,63	40,54	36,06	39,62	39,23	40,48	46,34	48,42	41,75	31,71
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Egipto 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	23,358	0,685
<i>n</i> -Heptano	5,319	6,525	31,393	18,362	11,180	38,596	16,690	14,614	0,000	0,000	0,000	9,253
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	106,972	132,864	81,190	0,000
<i>n</i> -Octano	3,311	0,000	4,765	46,738	0,000	0,000	0,000	0,000	175,511	235,410	973,339	0,000
<i>n</i> -Nonano	7,511	2,069	0,754	1,007	0,792	0,988	0,628	0,721	9,008	15,579	40,448	0,866
<i>n</i> -Decano	17,337	8,486	4,182	5,604	4,931	7,096	7,740	6,964	32,543	105,425	35,443	2,521
<i>n</i> -Undecano	2,374	1,871	1,992	3,196	1,665	1,498	1,361	1,105	0,210	1,652	2,190	1,554
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	408,597	624,464	598,019	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,271	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	35,852	18,950	43,358	74,907	18,568	48,178	26,420	23,403	732,840	1115,393	1753,986	14,878
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,220	0,116	0,266	0,459	0,114	0,295	0,162	0,143	4,488	6,830	10,741	0,091
T/°C	22,45	22,32	22,20	21,29	21,46	22,83	24,00	23,56	22,00	22,15	22,80	23,10
HR/%	26,04	25,44	28,87	33,52	37,87	38,44	37,87	40,57	44,43	44,74	40,47	32,49
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Egipto 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,276	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	411,064	458,114	206,724
<i>n</i> -Heptano	5,696	2,237	5,598	14,831	7,700	0,000	0,901	4,564	11,076	15,612	0,000	8,816
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,163	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,263	1,775	3,759	1,144
<i>n</i> -Nonano	1,109	1,148	2,051	2,375	0,817	0,701	0,847	0,550	1,168	1,583	27,739	4,787
<i>n</i> -Decano	1,785	1,390	3,374	5,096	4,832	3,800	4,065	3,087	3,888	5,721	32,136	15,071
<i>n</i> -Undecano	3,488	0,000	0,000	0,000	0,000	1,282	1,570	0,732	1,212	0,000	10,798	8,908
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,236	0,000	0,695	0,215	0,186	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/ TVOCs	12,516	5,011	11,023	22,996	13,564	5,968	7,383	8,933	19,607	435,755	532,545	245,450
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,077	0,031	0,068	0,141	0,083	0,037	0,045	0,055	0,120	2,668	3,261	1,503
T/°C	22,74	22,57	22,35	22,24	22,69	22,09	22,29	22,38	22,00	22,23	21,41	21,33
HR/%	35,11	32,35	28,45	34,17	37,44	39,74	42,14	40,81	39,31	41,28	36,79	37,00
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Egipto 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	280,528	3,637	37,672	24,927	55,368	3,534	2,932	3,048	11,693	16,182	17,251	10,533
<i>n</i> -Heptano	0,000	30,885	12,813	23,030	23,554	13,925	1,078	2,998	34,639	37,191	25,862	25,571
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,793	0,173	3,308	5,792	14,350	5,191	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	1,427	0,981	0,997	1,769	0,930	1,047	0,000	0,000	0,000	1,791	0,876	0,640
<i>n</i> -Decano	4,352	3,406	3,168	2,740	2,062	2,035	0,000	0,000	1,254	5,717	0,683	0,649
<i>n</i> -Undecano	0,345	3,217	1,980	1,803	0,000	0,653	0,000	0,000	0,000	9,999	0,000	0,000
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,205	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	287,445	42,504	59,937	60,060	96,264	26,385	4,010	6,046	47,586	70,881	44,672	37,394
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	1,760	0,260	0,367	0,368	0,590	0,162	0,025	0,037	0,291	0,434	0,274	0,229
T/°C	21,05	21,70	22,04	21,61	21,72	22,03	23,93	23,73	23,00	22,30	21,72	20,90
HR/%	30,95	36,28	41,85	37,61	40,86	42,45	37,49	37,95	36,65	37,84	36,02	34,66
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Pasivo Egipto 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	6,771	19,989	26,962	94,305	153,516	198,654	225,507	142,500	164,468	114,902
Octametilciclotetrasiloxano	2,521	4,645	5,190	13,841	25,653	17,845	21,807	19,074	21,462	11,726
Decametilmiclopentasiloxano	13,566	55,369	25,426	59,581	65,063	52,862	67,194	51,688	46,830	35,112
Dodecametilciclohexasiloxano	4,679	6,649	7,697	68,579	62,268	49,273	35,642	10,902	12,303	5,437
Ácido Undecanoico				0,000	0,000	0,043	0,004	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	27,536	86,652	65,275	236,306	306,500	318,677	350,153	224,165	245,063	167,177
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,169	0,531	0,400	1,447	1,877	1,952	2,144	1,373	1,501	1,024
T/°C	22,10	22,40	21,89	22,57	22,68	23,01	22,53	22,10	21,97	22,58
HR/%	28,63	40,54	36,06	39,62	39,23	40,48	46,34	48,42	41,75	31,71
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Pasivo Egipto 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	39,151	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	61,886	82,189	185,086	165,724	88,289	78,939	63,533	59,981	20,253	55,921	126,787	137,617
Octametilciclotetrasiloxano	7,641	9,093	6,463	6,348	4,244	3,774	4,376	3,506	2,655	4,241	3,453	1,655
Decametilciclopentasiloxano	28,260	25,339	44,591	34,318	15,816	8,355	19,995	26,613	0,512	0,736	0,898	12,709
Dodecametilciclohexasiloxano	6,292	7,053	9,355	7,241	8,579	5,354	6,669	3,477	0,094	0,224	0,563	1,988
Ácido Undecanoico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	22,163	14,633	22,643	0,000
ng/TVOCs	104,078	123,672	245,495	213,631	116,929	96,422	94,573	93,576	84,828	75,755	154,342	153,970
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,637	0,757	1,503	1,308	0,716	0,590	0,579	0,573	0,519	0,464	0,945	0,943
T/°C	22,45	22,32	22,20	21,29	21,46	22,83	24,00	23,56	22,00	22,15	22,80	23,10
HR/%	26,04	25,44	28,87	33,52	37,87	38,44	37,87	40,57	44,43	44,74	40,47	32,49
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Egipto 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	136,282	82,013	28,631	39,664	29,520	12,236	21,500	26,898	21,955	23,350	32,958	48,107
Octametilciclotetrasiloxano	1,616	1,090	6,070	8,468	5,092	2,389	3,641	4,674	4,803	6,235	8,919	11,859
Decametilciclopentasiloxano	12,516	14,275	43,871	28,076	29,326	12,945	13,073	23,376	12,662	20,834	47,133	79,866
Dodecametilciclohexasiloxano	1,840	1,439	5,136	4,786	4,166	1,517	2,696	3,396	4,002	3,101	7,765	9,185
Ácido Undecanoico	0,264	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/ TVOCs	152,517	98,816	83,708	80,994	68,105	29,088	40,911	58,344	43,421	53,520	96,776	149,016
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,934	0,605	0,513	0,496	0,417	0,178	0,251	0,357	0,266	0,328	0,593	0,913
T/°C	22,74	22,57	22,35	22,24	22,69	22,09	22,29	22,38	22,00	22,23	21,41	21,33
HR/%	35,11	32,35	28,45	34,17	37,44	39,74	42,14	40,81	39,31	41,28	36,79	37,00
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Pasivo Egipto 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	57,590	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	36,486	34,044	35,768	23,502	12,333	12,846	4,237	30,013	90,000	56,590	58,888	32,803
Octametilciclotetrasiloxano	10,399	8,543	13,277	8,626	3,560	3,454	0,000	4,762	5,732	7,748	4,553	1,492
Decametilciclopentasiloxano	51,323	46,491	30,168	21,637	12,637	8,667	2,471	9,116	30,356	53,770	29,925	40,959
Dodecametilciclohexasiloxano	6,881	5,080	3,946	3,374	1,724	1,865	0,000	1,884	5,039	40,312	9,416	8,680
Ácido Undecanoico	0,000	0,687	1,030	0,530	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	105,089	152,435	84,189	57,669	30,253	26,832	6,708	45,775	131,127	158,420	102,783	83,934
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,644	0,933	0,516	0,353	0,185	0,164	0,041	0,280	0,803	0,970	0,629	0,514
T/°C	21,05	21,70	22,04	21,61	21,72	22,03	23,93	23,73	23,00	22,30	21,72	20,90
HR/%	30,95	36,28	41,85	37,61	40,86	42,45	37,49	37,95	36,65	37,84	36,02	34,66
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Medieval

Pasivo Medieval 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	12,572	13,979	0,000	0,119	0,000	1,144	0,026	0,000	0,000	0,000
Tolueno	66,635	50,523	24,053	12,542	32,737	19,171	49,184	85,283	60,437	77,093
Etilbenceno	12,769	10,414	9,167	5,046	10,484	5,430	9,839	21,505	20,589	22,704
<i>o</i> -Xileno	10,701	8,930	8,084	6,490	12,195	2,057	1,916	4,680	16,578	7,207
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	19,805	26,622	26,419	17,253	29,582	5,272	8,142	9,840	16,519	12,655
Cumeno	0,525	0,000	0,782	0,000	0,695	0,000	0,379	0,665	1,004	0,790
<i>n</i> -Propilbenceno	8,267	2,455	2,079	0,420	1,297	1,065	10,195	2,602	2,229	2,638
3-Etiltolueno	12,418	11,997	0,205	4,500	0,629	0,000	6,148	11,709	6,603	0,000
Mesitileno	8,090	3,319	2,999	10,415	8,238	6,096	8,505	6,528	12,679	12,219
1,2,4-Trimetilbenceno	22,637	21,656	14,846	10,380	21,592	20,307	31,649	24,688	35,894	32,295
1,2,3-Trimetilbenceno	6,170	4,132	3,353	9,792	17,997	9,782	12,731	4,455	9,257	8,862
Cimeno	0,380	0,583	0,542	0,237	0,505	0,497	0,774	2,798	1,243	2,204
<i>n</i> -Butilbenceno	0,109	0,303	0,000	1,074	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno					2,834	0,000	0,505	2,284	1,693	1,342
4-Etil- <i>o</i> -Xileno					1,559	1,720	2,173	1,472	3,939	3,322
ng/TVOCs	181,078	154,912	92,529	78,267	140,344	72,539	142,165	178,509	188,664	183,332
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,109	0,949	0,567	0,479	0,859	0,444	0,871	1,093	1,155	1,123
T/°C	22,66	21,67	22,09	22,24	22,98	23,40	22,47	21,92	22,63	23,57
HR/%	30,39	39,09	33,93	37,69	39,23	40,55	46,83	46,76	39,95	29,69
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Medieval 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,000	0,000	0,000	1,985	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	8,733
Tolueno	35,296	53,294	16,813	32,835	17,470	11,364	16,943	18,603	6,931	2,542	0,000	33,117
Etilbenceno	16,788	7,410	2,547	6,010	5,196	9,172	5,630	6,098	42,580	32,221	52,161	2,891
<i>o</i> -Xileno	6,178	3,396	3,384	4,145	2,752	4,910	3,935	3,442	6,695	5,284	31,190	2,947
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	6,189	3,491	5,576	4,512	2,747	3,885	6,154	16,108	10,424	6,744	4,941	2,238
Cumeno	0,322	0,000	0,166	0,000	0,000	0,000	0,241	0,000	1,191	1,268	1,725	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	3,428	1,196	0,515	0,727	0,420	0,628	0,830	0,612	46,012	11,602	59,753	0,595
3-Etiltolueno	24,088	2,828	9,160	7,872	7,450	7,724	13,808	6,774	6,545	4,722	3,935	1,666
Mesitileno	8,142	5,678	7,082	2,429	2,121	2,080	4,407	2,504	13,673	1,868	6,503	1,844
1,2,4-Trimetilbenceno	28,350	18,473	16,860	8,541	13,840	16,087	8,216	4,928	10,097	6,300	9,340	8,507
1,2,3-Trimetilbenceno	4,351	4,032	15,222	5,036	5,051	4,450	4,867	2,786	16,497	12,691	22,486	3,346
Cimeno	2,147	1,481	0,606	0,938	1,146	1,641	1,477	1,199	7,846	5,804	10,481	0,778
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,441	3,383	12,222	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,097	0,000	0,318	0,151	0,000	0,000	0,000	3,516	2,681	3,497	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,684	0,000	0,000	0,000	0,000	0,442	0,401	0,785	0,527
ng/TVOCs	135,280	101,375	77,930	76,031	58,347	61,940	66,506	63,053	178,890	97,512	219,018	67,191
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,828	0,621	0,477	0,466	0,357	0,379	0,407	0,386	1,095	0,597	1,341	0,411
T/°C	23,10	23,10	23,64	22,42	22,13	22,37	23,64	23,33	23,04	22,26	23,55	23,70
HR/%	24,93	25,51	27,66	32,47	37,33	39,66	38,48	40,57	39,97	43,26	36,61	31,61
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Medieval 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	8,959	5,965	13,671	15,879	15,870	11,987	11,124	0,048	9,581	12,074	12,873	13,717
Tolueno	30,128	27,147	47,321	53,257	42,600	29,483	35,170	88,224	36,493	49,809	42,856	74,809
Etilbenceno	3,383	2,654	10,507	10,481	9,590	5,483	42,028	9,673	20,180	9,225	10,489	20,713
<i>o</i> -Xileno	3,374	2,751	106,848	10,139	10,114	5,850	64,328	9,743	28,309	13,713	14,826	34,472
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	2,298	1,723	6,883	6,452	4,059	5,216	17,905	4,811	22,907	10,407	7,516	15,796
Cumeno	0,000	0,128	0,916	1,038	0,326	0,154	0,703	0,000	1,335	1,258	3,292	1,597
<i>n</i> -Propilbenceno	0,665	0,411	3,119	3,312	2,320	0,953	4,648	0,801	1,370	1,097	2,063	2,665
3-Etiltolueno	1,922	1,613	6,809	2,785	3,517	0,354	12,535	0,751	10,727	4,440	9,158	24,645
Mesitileno	1,630	3,495	10,176	8,841	5,594	2,339	9,719	3,030	4,080	3,527	5,021	8,583
1,2,4-Trimetilbenceno	8,137	7,183	26,614	23,631	20,771	9,443	35,541	10,934	12,127	9,766	10,970	24,869
1,2,3-Trimetilbenceno	2,813	2,751	11,312	9,897	6,143	3,127	8,654	4,015	3,909	3,036	5,614	9,254
Cimeno	0,820	0,756	2,856	4,258	3,059	2,456	2,544	1,907	1,954	1,149	2,626	5,138
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,284	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,963	0,555	0,370	0,234	0,144	0,054	0,142	0,074	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,514	0,183	0,714	1,232	0,576	0,277	0,000	0,164	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/ TVOCs	64,643	57,722	248,585	151,571	124,774	77,267	244,959	134,244	153,045	119,501	127,304	236,258
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,396	0,353	1,522	0,928	0,764	0,473	1,500	0,822	0,937	0,732	0,780	1,447
T/°C	23,62	23,17	22,70	23,13	23,01	21,68	22,17	21,99	21,89	22,85	21,90	23,22
HR/%	32,65	29,79	27,20	33,17	36,90	44,76	45,74	42,76	41,26	42,95	37,05	34,44
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Medieval 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	2,504	3,043	7,305	9,592	7,347	4,766	1,967	1,947	311,496	156,961	88,128	48,732
Tolueno	27,355	46,290	19,761	13,320	26,066	31,383	5,462	7,893	311,496	156,961	88,128	48,732
Etilbenceno	19,071	7,748	6,031	3,285	8,017	12,103	3,174	0,968	128,809	89,231	49,221	20,732
<i>o</i> -Xileno	33,214	12,079	10,072	5,785	12,199	15,158	7,329	2,024	34,808	32,669	21,460	50,396
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	19,524	5,844	11,426	5,328	8,400	3,778	9,848	2,144	36,322	32,980	23,164	55,353
Cumeno	3,013	0,329	0,354	0,457	2,344	1,005	0,000	0,154	31,418	27,307	16,041	22,229
<i>n</i> -Propilbenceno	4,405	0,951	1,110	0,659	1,587	1,166	0,000	0,000	1,729	1,671	1,052	0,767
3-Etiltolueno	25,456	1,129	5,876	4,182	2,848	2,351	0,000	0,000	1,468	3,348	1,905	2,180
Mesitileno	11,617	2,377	2,547	2,836	2,142	1,824	0,000	0,132	7,802	13,257	12,863	12,634
1,2,4-Trimetilbenceno	33,550	10,171	9,032	8,011	5,087	4,447	0,000	0,248	3,466	7,502	6,891	5,964
1,2,3-Trimetilbenceno	11,346	4,047	2,843	3,370	1,285	1,527	0,000	0,000	8,400	22,990	23,018	23,057
Cimeno	2,691	2,026	1,300	0,536	0,664	1,072	0,000	0,129	1,963	5,960	4,261	3,824
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,459	1,381	0,329	0,684	2,274	0,000	0,000	0,436	3,196	1,196	1,051
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,387	0,000	0,632	0,141	0,280	0,563	0,000	0,000	0,998	2,958	2,530	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	1,830	0,920	0,683	0,457	0,000	0,537	0,000	0,000	0,000	0,000	1,178	1,077
ng/TVOCs	195,962	97,416	80,353	58,287	78,947	83,954	27,779	15,638	2,182	0,000	2,034	0,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,200	0,597	0,492	0,357	0,483	0,514	0,170	0,096	0,013	0,000	0,012	0,000
T/°C	22,58	22,93	22,98	20,90	21,40	22,78	24,42	24,87	24,01	23,24	22,18	21,42
HR/%	26,47	33,90	35,96	31,72	39,18	42,17	38,11	37,94	36,37	37,32	35,18	31,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Medieval 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal					83,652	52,352	47,609	36,735	0,000	0,000
Tetracloroetileno					0,000	1,183	4,420	5,061	3,308	3,227
1-Metoxi-2-propilacetato					71,592	40,871	124,545	61,085	151,918	32,273
$\alpha$ -Pino	33,921	22,959	23,727	14,369	21,777	20,112	25,943	34,960	28,070	21,760
Benzaldehído	0,000	0,000	8,878	4,010	9,635	2,703	3,442	4,050	21,875	22,663
Limoneno	2,712	9,175	3,015	1,353	2,850	4,544	7,495	19,130	23,253	13,691
Acetofenona	0,080	2,402	0,000	0,633	4,091	4,631	21,328	11,993	3,050	3,682
2-Butoxietilacetato					22,696	1,093	2,044	2,291	11,864	1,671
Nonanal	3,381	18,594	7,533	7,926	12,218	16,479	13,739	8,051	4,316	4,116
Alcanfor					0,000	0,018	0,038	0,070	0,305	0,000
Decanal	0,464	0,559	0,736	0,134	2,997	3,465	1,932	0,000	1,155	0,000
Isobornilacetato					0,000	0,223	1,504	1,302	1,288	0,000
2-Fenilbutiramida					0,000	73,658	93,207	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato					0,000	5,606	2,982	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	40,557	53,689	43,890	28,425	231,509	226,936	350,227	184,727	250,403	103,084
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,248	0,329	0,269	0,174	1,418	1,390	2,145	1,131	1,533	0,631
T/°C	22,66	21,67	22,09	22,24	22,98	23,40	22,47	21,92	22,63	23,57
HR/%	30,39	39,09	33,93	37,69	39,23	40,55	46,83	46,76	39,95	29,69
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Medieval 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	8,505	0,000	0,000	25,396	24,038	91,234	43,596	106,598	66,203	56,849	11,963
Tetracloroetileno	2,038	1,020	2,933	4,736	7,852	5,129	8,043	0,000	0,000	0,000	0,000	3,342
1-Metoxi-2-propilacetato	15,058	20,708	57,535	26,029	20,592	33,519	46,891	28,993	73,454	55,881	343,322	5,422
$\alpha$ -Pino	30,141	23,422	18,114	17,672	16,314	19,789	19,969	21,527	1,313	0,617	1,395	4,372
Benzaldehído	0,000	0,763	0,000	0,000	0,000	2,566	0,000	0,000	9,862	5,685	6,028	1,475
Limoneno	50,891	20,111	112,506	165,819	5,522	6,341	3,472	2,735	3,439	2,362	3,804	2,615
Acetofenona	0,000	11,012	0,000	1,508	0,000	1,090	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,084
2-Butoxietilacetato	7,432	11,764	11,000	3,647	3,347	2,730	2,949	0,000	3,215	3,050	6,579	0,000
Nonanal	2,641	3,519	7,471	10,089	8,158	9,698	11,118	5,549	1,752	2,243	3,327	0,547
Alcanfor	0,000	0,000	0,005	0,006	0,000	0,016	0,036	0,035	0,319	0,140	0,100	0,005
Decanal	0,283	0,000	1,024	2,857	1,486	1,507	1,590	0,000	1,682	1,395	2,864	0,221
Isobornilacetato	0,282	0,559	0,000	0,487	0,000	0,322	0,000	0,000	2,944	1,145	2,077	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,142
Diisobutilftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,990
ng/TVOCs	108,769	101,384	210,589	232,850	88,667	106,746	185,303	102,435	204,578	138,721	426,345	32,179
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,666	0,621	1,290	1,426	0,543	0,654	1,135	0,627	1,253	0,850	2,611	0,197
T/°C	23,10	23,09	23,71	22,41	22,12	22,56	23,68	23,49	22,99	22,26	23,55	23,70
HR/%	24,77	25,26	26,38	32,02	37,10	39,93	38,90	40,94	40,25	43,26	36,61	31,61
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Medieval 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	7,989	0,000	0,000	5,209	3,419	2,763	0,000	7,329	0,000	0,000	0,000	0,000
Tetracloroetileno	4,594	2,230	0,143	0,075	0,260	0,298	0,239	0,134	0,761	10,336	2,924	16,666
1-Metoxi-2-propilacetato	4,473	3,121	12,971	20,716	11,882	14,138	0,000	10,587	0,000	0,000	3,656	0,000
$\alpha$ -Pino	4,679	5,396	17,101	33,802	15,952	17,981	11,730	8,424	10,117	10,404	2,068	21,434
Benzaldehído	1,918	1,101	4,343	13,009	8,023	11,380	6,687	6,607	0,094	0,000	0,000	0,000
Limoneno	9,979	7,027	19,671	32,320	30,660	18,723	13,027	5,329	5,624	12,413	8,120	27,987
Acetofenona	0,988	0,843	3,022	5,463	2,769	10,704	3,116	2,009	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	6,547	2,593	0,000	2,084	1,242	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	1,207	1,272	6,906	8,894	11,739	10,099	10,552	6,615	1,344	0,000	0,000	0,000
Alcanfor	0,011	0,011	0,048	0,052	0,055	0,029	0,032	0,035	0,020	0,065	0,059	0,024
Decanal	0,581	0,598	3,413	5,483	6,026	3,915	2,129	2,694	0,000	0,000	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,165	0,096	0,112	0,028	2,631	0,273	0,000	0,702	0,000	0,106
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,918	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,519	2,819	1,660	0,000	0,970	6,101
ng/ TVOCs	37,338	21,597	67,784	131,666	93,487	90,057	55,746	54,097	19,618	33,920	17,797	72,319
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,229	0,132	0,415	0,806	0,573	0,551	0,341	0,331	0,120	0,208	0,109	0,443
T/°C	23,62	23,17	22,70	23,13	23,01	21,68	22,17	21,99	21,89	22,85	21,90	23,22
HR/%	32,65	29,79	27,20	33,17	36,90	44,76	45,74	42,76	41,26	42,95	37,05	34,44
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Medieval 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	0,000	3,272	0,000	0,000	0,992	0,000	0,000	212,126	162,128	56,774	40,460
Tetracloroetileno	6,569	4,785	2,666	2,083	3,845	2,240	0,133	0,133	1,729	3,131	2,551	0,688
1-Metoxi-2-propilacetato	0,000	7,916	12,416	6,999	3,964	3,646	0,000	0,000	28,005	14,684	12,064	4,953
$\alpha$ -Pino	12,878	11,358	12,742	2,615	4,970	5,948	8,481	9,645	32,592	23,140	17,758	10,512
Benzaldehído	0,000	0,303	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Limoneno	19,715	15,466	13,541	1,007	4,553	7,037	0,000	6,312	24,849	25,090	31,341	27,421
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,728	2,415	1,819	0,386	0,000	1,544	0,000	0,000	17,907	0,000	0,000	0,000
Alcanfor	0,057	0,035	0,070	0,048	0,058	0,042	0,000	0,035	0,251	0,077	0,136	0,064
Decanal	0,000	0,000	1,361	0,403	0,368	0,135	0,000	0,000	1,163	1,732	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,472	12,543	6,590	5,888	6,222	0,000	0,000	2,508	1,628	1,656	0,234
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,000	0,026	2,410	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,705	0,790	0,280	0,000
ng/TVOCs	39,947	42,776	62,839	20,131	23,646	27,806	8,615	16,125	321,835	232,400	122,560	84,331
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,245	0,262	0,385	0,123	0,145	0,170	0,053	0,099	1,971	1,423	0,751	0,516
T/°C	22,58	22,93	22,98	20,90	21,40	22,78	24,42	24,87	24,01	23,24	22,18	21,42
HR/%	26,47	33,90	35,96	31,72	39,18	42,17	38,11	37,94	36,37	37,32	35,18	31,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Medieval 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Heptano	3,556	4,895	2,131	0,063	0,000	0,122	4,268	0,000	0,000	8,709
1,2-Propanodiol						0,000	32,288	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	1,025	1,024	9,671	24,088	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	14,742	2,896	1,854	0,060	0,000	0,412	1,212	1,366	1,976	1,911
<i>n</i> -Decano	9,202	7,377	3,935	3,559	5,684	6,975	8,672	15,055	9,693	8,734
<i>n</i> -Undecano	2,708	3,847	2,625	9,854	0,000	11,800	21,442	13,522	0,000	25,258
$\beta$ -Terpineol					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,643
$\alpha$ -Terpineol					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	30,208	20,040	11,568	23,208	29,772	19,309	67,882	29,943	11,669	47,255
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,185	0,123	0,071	0,142	0,182	0,118	0,416	0,183	0,071	0,289
T/°C	22,66	21,67	22,09	22,24	22,98	23,40	22,47	21,92	22,63	23,57
HR/%	30,39	39,09	33,93	37,69	39,23	40,55	46,83	46,76	39,95	29,69
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Medieval 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	17,800	11,529	17,672	0,923
<i>n</i> -Heptano	0,000	0,000	19,140	20,756	1,263	84,494	19,969	5,889	0,000	0,000	0,000	7,977
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	100,679	24,353	46,640	0,000
<i>n</i> -Octano	3,465	0,000	3,973	38,534	0,000	1,451	0,000	0,000	236,694	105,888	1686,913	0,037
<i>n</i> -Nonano	2,860	1,038	0,585	0,929	0,458	0,927	0,561	0,309	42,868	12,603	48,155	0,419
<i>n</i> -Decano	9,817	4,870	4,490	4,999	3,610	7,023	7,243	4,125	65,044	36,387	54,660	2,438
<i>n</i> -Undecano	1,862	1,056	1,668	3,067	0,954	1,759	1,252	1,246	4,328	3,480	5,053	0,521
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	263,603	232,900	307,439	0,000
$\alpha$ -Terpineol	3,412	0,000	9,086	0,000	1,555	0,000	1,052	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	21,416	6,964	38,942	68,285	7,840	95,654	30,076	11,569	731,016	427,139	2166,533	12,315
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,131	0,043	0,238	0,418	0,048	0,586	0,184	0,071	4,477	2,616	13,268	0,075
T/°C	23,10	23,10	23,64	22,42	22,13	22,37	23,64	23,33	23,04	22,26	23,55	23,70
HR/%	24,93	25,51	27,66	32,47	37,33	39,66	38,48	40,57	39,97	43,26	36,61	31,61
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Medieval 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,697	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	456,778	391,153	0,000
<i>n</i> -Heptano	7,236	6,295	14,026	19,151	0,000	0,000	3,948	7,164	7,663	3,915	0,774	22,517
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,202	0,000	0,387	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,663	2,696	5,752	2,051
<i>n</i> -Nonano	1,133	1,002	1,264	3,786	0,869	0,879	0,997	0,827	1,154	1,739	21,872	3,788
<i>n</i> -Decano	2,154	1,964	3,747	5,717	3,595	2,640	4,543	3,101	3,107	3,251	25,559	13,382
<i>n</i> -Undecano	1,858	0,000	1,799	2,507	1,647	1,360	1,444	0,765	0,900	0,000	6,911	7,605
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	1,935	1,926	0,901	0,886	0,169	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,601
ng/ TVOCs	13,280	11,196	23,150	32,062	6,998	5,048	10,931	11,857	13,488	468,379	452,021	56,945
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,081	0,069	0,142	0,196	0,043	0,031	0,067	0,073	0,083	2,868	2,768	0,349
T/°C	23,62	23,17	22,70	23,13	23,01	21,68	22,17	21,99	21,89	22,85	21,90	23,22
HR/%	32,65	29,79	27,20	33,17	36,90	44,76	45,74	42,76	41,26	42,95	37,05	34,44
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Medieval 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	177,722	11,560	7,875	60,217	161,324	2,600	2,331	2,879	7,094	11,029	15,191	4,802
<i>n</i> -Heptano	0,000	38,247	29,830	19,121	36,946	17,611	1,381	1,707	32,191	28,405	32,347	16,324
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	1,597	6,063	5,088	4,757	65,032	8,876	0,297	0,149	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	2,211	1,253	0,997	1,434	2,129	0,734	0,000	2,694	2,053	1,899	1,394	0,920
<i>n</i> -Decano	12,755	4,699	2,967	3,277	13,250	7,755	0,000	0,000	4,214	5,758	3,586	1,192
<i>n</i> -Undecano	1,310	2,700	2,184	0,707	2,227	1,813	0,000	0,000	0,000	15,289	3,838	3,708
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,504	0,779	0,114	0,000	0,187	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	3,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	198,616	65,026	49,718	89,626	280,907	39,576	4,009	7,429	45,552	62,380	56,355	26,945
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	1,216	0,398	0,304	0,549	1,720	0,242	0,025	0,045	0,279	0,382	0,345	0,165
T/°C	22,58	22,93	22,98	20,90	21,40	22,78	24,42	24,87	24,01	23,24	22,18	21,42
HR/%	26,47	33,90	35,96	31,72	39,18	42,17	38,11	37,94	36,37	37,32	35,18	31,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Pasivo Medieval 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	12,890	10,968	28,229	108,947	206,117	285,408	384,924	205,599	378,419	271,679
Octametilciclotetrasiloxano	2,017	3,615	3,241	19,458	33,817	22,722	29,845	32,390	53,686	34,272
Decametilciclopentasiloxano	5,228	39,840	12,337	37,368	50,328	40,363	50,840	28,540	32,878	23,614
Dodecametilciclohexasiloxano	2,453	6,602	5,290	93,071	170,317	105,317	144,800	40,297	95,925	84,904
Ácido Undecanoico					0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	22,589	61,025	49,097	258,843	460,578	453,811	610,421	306,826	560,908	414,468
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,138	0,374	0,301	1,585	2,821	2,779	3,738	1,879	3,435	2,538
T/°C	22,66	21,67	22,09	22,24	22,98	23,40	22,47	21,92	22,63	23,57
HR/%	30,39	39,09	33,93	37,69	39,23	40,55	46,83	46,76	39,95	29,69
Visitantes	0	139025	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Pasivo Medieval 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	138,313	232,721	805,812	301,282	109,696	100,732	101,515	71,200	53,170	54,340	86,650	305,555
Octametilciclotetrasiloxano	16,322	31,430	25,913	11,419	5,982	5,994	7,730	3,990	2,621	2,319	3,116	4,704
Decametilciclopentasiloxano	25,938	22,243	34,484	21,505	7,382	8,954	17,092	14,497	0,358	0,552	0,620	4,824
Dodecametilciclohexasiloxano	23,530	63,454	113,138	31,767	25,492	15,950	25,463	11,746	0,000	0,266	0,453	13,118
Ácido Undecanoico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	64,574	63,150	103,297	0,000
ng/TVOCs	204,103	349,848	979,346	365,972	148,552	131,630	151,800	101,433	120,723	120,627	194,136	328,201
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,250	2,142	5,997	2,241	0,910	0,806	0,930	0,621	0,739	0,739	1,189	2,010
T/°C	23,10	23,10	23,64	22,42	22,13	22,37	23,64	23,33	23,04	22,26	23,55	23,70
HR/%	24,93	25,51	27,66	32,47	37,33	39,66	38,48	40,57	39,97	43,26	36,61	31,61
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Pasivo Medieval 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	237,166	282,325	77,938	86,288	42,461	20,413	34,970	38,538	26,253	52,231	63,124	103,194
Octametilciclotetrasiloxano	4,028	4,783	19,368	22,272	9,047	4,295	7,222	8,267	6,132	15,418	16,109	30,286
Decametilciclopentasiloxano	6,112	6,085	22,915	21,809	17,499	10,424	13,758	13,032	12,305	19,154	19,263	51,426
Dodecametilciclohexasiloxano	10,625	13,655	37,404	40,437	18,731	3,374	11,096	9,847	8,037	26,876	18,432	48,807
Ácido Undecanoico	0,214	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/ TVOCs	258,146	306,849	157,625	170,806	87,738	38,507	67,046	69,683	52,727	113,679	116,929	233,712
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,581	1,879	0,965	1,046	0,537	0,236	0,411	0,427	0,323	0,696	0,716	1,431
T/°C	23,62	23,17	22,70	23,13	23,01	21,68	22,17	21,99	21,89	22,85	21,90	23,22
HR/%	32,65	29,79	27,20	33,17	36,90	44,76	45,74	42,76	41,26	42,95	37,05	34,44
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Pasivo Medieval 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	63,154	35,417	43,186	58,702	24,769	24,021	39,322	37,666	233,498	245,122	217,151	163,368
Octametilciclotetrasiloxano	26,110	12,687	13,194	14,868	9,197	8,463	4,615	7,588	26,271	29,962	27,370	23,869
Decametilciclopentasiloxano	39,207	35,921	21,907	11,045	13,508	10,037	5,340	7,521	21,703	27,945	28,486	22,195
Dodecametilciclohexasiloxano	40,225	22,502	12,097	15,397	4,686	5,544	6,671	8,615	51,952	80,309	58,479	47,567
Ácido Undecanoico	0,000	0,731	0,858	0,218	0,000	0,323	0,000	0,000	0,000	17,465	0,000	0,000
ng/TVOCs	168,695	107,259	91,243	100,231	52,159	48,389	55,948	61,390	333,424	400,803	331,485	257,000
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,033	0,657	0,559	0,614	0,319	0,296	0,343	0,376	2,042	2,454	2,030	1,574
T/°C	22,58	22,93	22,98	20,90	21,40	22,78	24,42	24,87	24,01	23,24	22,18	21,42
HR/%	26,47	33,90	35,96	31,72	39,18	42,17	38,11	37,94	36,37	37,32	35,18	31,81
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Nespamedu

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno		37,884	0,000	0,140	0,000	0,078	0,037	0,000	0,000	0,000
Tolueno		218,182	118,845	4,998	8,723	5,509	13,031	26,081	12,477	11,142
Etilbenceno		380,275	72,934	4,595	3,564	2,589	3,536	7,549	4,954	4,727
<i>o</i> -Xileno		289,187	356,510	3,636	5,070	1,492	1,539	3,563	3,979	2,245
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno		1689,873	1097,677	10,492	16,499	10,791	0,632	4,106	6,926	7,615
Cumeno		65,133	43,176	0,086	0,166	0,067	0,280	0,193	0,096	0,230
<i>n</i> -Propilbenceno		172,519	122,585	1,929	2,047	1,487	1,667	1,438	0,774	0,908
3-Etiltolueno		480,341	343,639	15,367	17,590	0,000	1,028	1,562	2,039	0,000
Mesitileno		483,937	344,927	10,886	11,807	7,596	6,426	4,550	3,867	3,258
1,2,4-Trimetilbenceno		2830,819	1938,385	43,900	49,489	31,545	27,466	19,908	12,388	12,007
1,2,3-Trimetilbenceno		867,152	505,004	45,838	53,514	16,986	13,202	4,317	2,739	3,002
Cimeno		0,000	1,742	0,567	0,000	0,092	0,095	0,000	0,944	0,000
<i>n</i> -Butilbenceno		0,000	0,000	4,459	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno				0,000	6,897	1,134	0,857	3,473	0,678	0,342
4-Etil- <i>o</i> -Xileno				0,000	5,876	4,722	3,527	2,951	1,658	1,344
ng/TVOCs	0,000	7515,302	4945,424	146,892	181,242	84,086	73,323	79,690	53,519	46,820
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,000	46,023	30,285	0,900	1,110	0,515	0,449	0,488	0,328	0,287
T/°C	21,07	21,58	21,26	21,99	22,07	22,08	21,43	21,31	21,01	21,56
HR/%	37,00	37,95	38,59	41,18	42,70	42,88	48,26	50,74	46,19	37,69
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	14,711
Tolueno	5,771	5,466	5,569	4,390	8,869	2,520	3,958	3,456	0,000	0,000	0,000	4,636
Etilbenceno	2,294	1,728	0,957	1,214	1,978	2,425	0,616	0,905	51,417	68,890	51,938	0,274
<i>o</i> -Xileno	1,314	1,221	1,496	1,045	1,500	1,894	1,010	1,108	1,701	2,131	2,262	0,401
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	3,556	2,640	4,704	4,237	2,905	2,429	7,529	5,235	2,954	6,411	3,831	1,890
Cumeno	0,000	0,000	0,039	0,069	0,000	0,000	0,000	0,000	0,205	0,459	0,223	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	0,960	0,297	0,175	0,322	0,136	0,494	0,388	0,152	7,310	7,098	8,593	0,257
3-Etiltolueno	10,075	6,993	3,343	3,514	3,445	8,024	4,140	2,793	0,996	1,594	0,907	0,772
Mesitileno	2,867	2,157	1,421	1,340	1,134	2,508	3,992	2,712	2,132	8,435	2,832	0,992
1,2,4-Trimetilbenceno	11,089	8,372	7,817	6,353	12,443	15,891	8,442	6,760	2,318	5,623	3,683	5,361
1,2,3-Trimetilbenceno	2,225	1,704	3,771	3,362	3,475	6,447	5,392	4,120	16,548	23,940	18,609	1,547
Cimeno	0,000	0,000	0,215	0,110	0,442	0,688	0,550	0,398	1,822	7,217	4,901	0,048
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,145	2,344	2,237	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,066	0,000	0,000	0,000	0,061	0,000	0,195	0,150	1,389	1,692	1,861	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,000	0,000	0,165	0,257	0,000	0,399	0,496	0,339	0,448	0,319	0,332
ng/TVOCs	40,216	30,578	29,507	26,121	36,646	43,319	36,612	28,286	90,276	136,280	102,195	31,220
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,246	0,187	0,181	0,160	0,224	0,265	0,224	0,173	0,553	0,835	0,626	0,191
T/°C	21,49	21,19	21,36	20,78	21,29	21,82	23,00	22,92	22,00	21,60	21,84	22,31
HR/%	32,15	31,58	32,96	35,71	39,86	40,11	40,47	42,51	45,51	46,57	43,11	37,01
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	15,475	0,000	0,000	0,000	33,419	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	55,145	0,000
Tolueno	13,547	2,853	0,000	11,684	10,769	6,406	10,780	22,078	5,771	11,532	68,698	22,378
Etilbenceno	0,642	0,285	147,345	1,732	1,749	1,674	2,128	1,148	0,759	0,427	1,715	2,614
<i>o</i> -Xileno	0,694	0,391	2,161	1,889	2,388	1,955	2,524	2,027	1,207	0,865	18,035	8,425
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	2,021	1,334	24,884	7,412	6,045	5,685	8,548	3,909	2,789	0,475	7,872	27,480
Cumeno	0,000	0,031	0,091	0,430	0,253	0,096	0,261	0,000	0,000	0,201	6,716	1,804
<i>n</i> -Propilbenceno	0,213	0,122	4,133	1,175	0,989	0,762	1,093	0,534	0,160	0,000	6,792	1,802
3-Etiltolueno	0,595	0,644	2,866	3,862	2,976	1,521	2,281	4,588	1,093	0,000	9,410	21,471
Mesitileno	0,887	0,787	8,021	4,887	3,530	2,643	3,758	2,860	1,343	0,194	7,374	15,643
1,2,4-Trimetilbenceno	4,789	3,785	11,552	22,105	15,262	12,192	19,734	12,183	5,047	0,000	9,324	53,210
1,2,3-Trimetilbenceno	1,359	1,134	35,434	7,378	4,810	3,984	6,145	4,815	1,925	0,000	4,290	24,615
Cimeno	0,128	0,052	17,181	0,593	0,623	0,825	0,731	0,112	0,000	0,000	3,284	1,585
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	6,583	0,101	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	4,098	1,072
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,026	3,276	0,310	0,143	0,143	0,200	0,067	0,000	0,000	0,000	1,208
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,371	0,100	0,652	0,891	0,629	0,340	0,000	0,179	0,000	0,000	0,000	2,254
ng/ TVOCs	40,721	11,545	264,179	64,450	83,584	38,226	58,184	54,504	20,093	13,695	202,753	185,562
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,249	0,071	1,618	0,395	0,512	0,234	0,356	0,334	0,123	0,084	1,242	1,136
T/°C	22,00	21,57	21,61	21,67	21,60	21,55	21,46	21,26	21,26	21,56	20,60	20,52
HR/%	38,18	35,96	32,33	36,00	38,92	42,35	44,25	44,62	43,05	43,55	41,23	41,07
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,000	0,000	32,486	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tolueno	38,440	664,702	307,246	14,711	11,333	19,238	8,712	6,856	32,727	46,044	14,019	47,249
Etilbenceno	10,597	0,000	9,278	1,990	1,419	3,336	0,207	0,399	7,496	12,908	2,285	8,125
<i>o</i> -Xileno	20,701	26,847	24,714	1,596	1,237	3,681	0,261	0,565	7,938	12,808	2,106	10,946
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	68,847	17,998	49,865	0,000	2,362	2,505	0,522	1,465	4,762	9,944	2,194	4,023
Cumeno	4,760	0,000	8,215	0,297	0,327	0,341	0,000	0,000	0,000	0,598	0,000	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	8,771	0,000	7,591	0,238	0,278	0,335	0,000	0,000	0,000	0,315	0,000	0,000
3-Etiltolueno	50,349	0,000	62,706	3,434	1,372	1,378	0,000	0,000	0,000	1,633	0,000	0,000
Mesitileno	37,135	0,000	132,348	1,726	1,124	1,416	0,000	0,000	0,000	0,410	0,000	0,000
1,2,4-Trimetilbenceno	114,505	0,000	199,750	7,895	3,376	4,284	0,000	0,683	0,854	1,405	0,000	1,042
1,2,3-Trimetilbenceno	52,980	0,000	2317,809	3,508	0,757	1,421	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cimeno	3,524	0,000	82,723	0,241	0,110	0,194	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Butilbenceno	3,209	0,000	14,944	1,196	0,206	0,464	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	2,149	0,000	3,689	0,281	0,055	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	8,594	2,262	21,129	1,052	0,097	0,129	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	424,562	711,809	3274,493	38,165	24,055	38,723	9,702	9,968	53,777	86,066	20,604	71,385
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	2,600	4,359	20,052	0,234	0,147	0,237	0,059	0,061	0,329	0,527	0,126	0,437
T/°C	19,95	20,85	21,36	20,85	20,81	21,53	24,41	23,40	22,00	22,00	20,75	19,90
HR/%	38,26	39,64	41,02	40,98	42,18	45,01	41,48	40,20	39,68	40,50	40,39	38,32
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal				0,000	37,266	16,793	26,326	44,241	24,570	7,715
Tetracloroetileno				0,000	0,000	4,161	5,222	30,017	0,647	0,000
1-Metoxi-2-propilacetato				0,000	25,475	22,435	32,969	27,783	38,735	11,335
$\alpha$ -Pino		0,000	3,847	1,812	1,593	2,697	3,672	4,842	2,973	1,092
Benzaldehído		0,000	0,000	0,000	0,000	5,852	5,948	5,984	10,681	9,818
Limoneno		16,640	6,791	0,644	0,529	0,828	2,263	4,610	4,488	2,026
Acetofenona		26,346	0,000	1,252	2,364	13,687	12,368	3,049	1,662	1,547
2-Butoxietilacetato					55,046	0,421	0,650	0,480	0,387	0,196
Nonanal		0,000	0,000	1,707	1,880	6,365	5,804	4,714	2,301	0,000
Alcanfor					0,000	0,016	0,000	0,000	0,005	0,000
Decanal		0,000	0,000	0,015	11,721	0,934	0,574	0,000	0,592	0,000
Isobornilacetato				0,000	0,000	1,019	0,147	0,000	0,210	0,000
2-Fenilbutiramida				0,000	0,000	233,210	208,859	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato				0,000	0,000	2,621	1,667	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	0,000	42,986	10,638	5,429	135,873	311,039	306,470	125,720	87,252	33,729
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,000	0,263	0,065	0,033	0,832	1,905	1,877	0,770	0,534	0,207
T/°C	21,07	21,58	21,26	21,99	22,07	22,08	21,43	21,31	21,01	21,56
HR/%	37,00	37,95	38,59	41,18	42,70	42,88	48,26	50,74	46,19	37,69
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	1,500	3,038	2,667	15,631	11,436	5,568	18,506	16,330	36,942	44,631	33,066	0,126
Tetracloroetileno	0,580	0,561	1,311	3,441	1,404	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,137
1-Metoxi-2-propilacetato	8,277	6,687	10,420	9,670	8,374	18,248	15,649	11,272	20,290	25,640	28,776	1,771
$\alpha$ -Pino	3,428	9,353	0,717	1,269	2,055	2,769	1,623	3,617	0,399	1,107	0,371	0,225
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,424	5,193	1,981	0,213
Limoneno	4,463	3,429	41,079	20,441	6,275	6,932	0,914	1,027	0,474	0,708	0,421	0,467
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,128	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,450
2-Butoxietilacetato	24,682	16,099	7,408	9,201	6,648	23,283	11,261	2,737	1,722	4,539	2,866	0,000
Nonanal	1,439	1,464	0,830	1,932	3,027	4,089	2,165	1,352	0,612	0,873	0,389	0,363
Alcanfor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,104	0,069	0,048	0,000
Decanal	0,388	0,265	0,000	0,000	0,483	0,832	0,325	0,000	0,738	0,709	1,059	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,662	1,091	0,440	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042	0,000	0,000	0,037
Diisobutilftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	44,758	40,895	64,432	61,585	39,703	62,849	50,444	36,335	64,408	84,562	69,416	3,789
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,274	0,250	0,395	0,377	0,243	0,385	0,309	0,223	0,394	0,518	0,425	0,023
T/°C	21,49	21,19	21,36	20,78	21,29	21,82	23,00	22,92	22,00	21,60	21,84	22,31
HR/%	32,15	31,58	32,96	35,71	39,86	40,11	40,47	42,51	45,51	46,57	43,11	37,01
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,942	4,448	0,000	22,906	1,095	1,240	8,600	0,000	0,919	0,000	0,000	0,000
Tetracloroetileno	0,088	0,138	0,000	0,016	0,050	0,073	0,121	0,000	0,031	0,000	7,427	0,000
1-Metoxi-2-propilacetato	2,201	1,794	33,320	11,082	7,268	6,292	8,433	5,473	2,412	0,000	0,000	60,935
$\alpha$ -Pino	0,503	0,412	0,658	5,908	3,155	2,480	0,671	0,617	0,000	0,239	10,373	2,873
Benzaldehído	0,961	0,161	3,870	0,966	1,098	0,833	1,228	0,038	0,000	0,000	0,000	0,000
Limoneno	2,016	0,887	0,740	5,226	5,857	4,273	2,597	0,866	0,399	0,000	1,488	4,169
Acetofenona	0,924	0,149	0,246	0,428	1,116	0,853	1,219	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	2,023	20,172	10,753	6,542	13,740	5,892	0,000	0,000	0,000	42,342
Nonanal	0,299	0,348	0,000	1,912	2,833	2,328	3,710	0,000	0,000	0,000	0,000	0,792
Alcanfor	0,000	0,000	1,744	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,109	0,000
Decanal	0,099	0,141	1,476	0,906	1,096	1,526	1,503	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,543	0,000	0,000	0,366	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,140	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/ TVOCs	8,173	8,479	44,620	69,522	34,322	26,824	41,822	12,885	3,761	0,239	19,397	111,112
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,050	0,052	0,273	0,426	0,210	0,164	0,256	0,079	0,023	0,001	0,119	0,680
T/°C	22,00	21,57	21,61	21,67	21,60	21,55	21,46	21,26	21,26	21,56	20,60	20,52
HR/%	38,18	35,96	32,33	36,00	38,92	42,35	44,25	44,62	43,05	43,55	41,23	41,07
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	92,293	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	38,489	48,370	8,710	8,652
Tetracloroetileno	0,000	0,000	0,000	55,607	1,694	2,265	0,198	0,136	0,709	1,196	0,569	0,322
1-Metoxi-2-propilacetato	130,136	0,000	4,292	14,841	1,833	3,165	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Pino	7,152	0,000	5,892	0,485	0,414	0,204	0,428	0,708	2,987	2,902	0,000	0,421
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Limoneno	6,839	0,000	13,012	1,544	0,652	0,811	0,000	0,000	0,000	4,773	0,000	0,000
Acetofenona	0,000	0,000	8,034	0,000	0,000	0,477	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	80,287	0,000	0,000	9,127	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,623	14,396	8,086	0,769	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Alcanfor	0,035	0,000	0,411	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000
Decanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	15,102	3,730	0,900	0,291	0,248	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,000	0,650	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	317,365	30,148	43,457	83,286	4,884	7,169	0,626	0,845	42,185	57,264	9,278	9,394
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	1,943	0,185	0,266	0,510	0,030	0,044	0,004	0,005	0,258	0,351	0,057	0,058
T/°C	19,95	20,85	21,36	20,85	20,81	21,53	24,41	23,40	22,00	22,00	20,75	19,90
HR/%	38,26	39,64	41,02	40,98	42,18	45,01	41,48	40,20	39,68	40,50	40,39	38,32
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano						0,236	0,060	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Heptano		0,000	8,603	0,337	0,000	0,353	0,126	0,000	0,000	0,000
1,2-Propanodiol						0,000	0,056	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano		0,000	2,948	7,437	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano		1210,711	0,000	0,000	0,000	0,000	0,356	0,149	0,230	0,000
<i>n</i> -Decano		0,000	6,436	0,679	1,160	2,675	3,695	2,576	1,721	1,042
<i>n</i> -Undecano		0,000	0,000	27,395	0,000	39,012	39,005	30,573	20,541	42,323
$\beta$ -Terpineol				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,481
$\alpha$ -Terpineol				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	0,000	1210,711	17,988	35,849	1,160	42,276	43,297	33,297	22,493	44,847
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,000	7,414	0,110	0,220	0,007	0,259	0,265	0,204	0,138	0,275
T/°C	21,07	21,58	21,26	21,99	22,07	22,08	21,43	21,31	21,01	21,56
HR/%	37,00	37,95	38,59	41,18	42,70	42,88	48,26	50,74	46,19	37,69
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	72,907	37,248	0,000	10,046
<i>n</i> -Heptano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	18,820	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	80,474	74,369	139,378	0,398
<i>n</i> -Nonano	0,481	0,147	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,466	13,877	11,429	0,028
<i>n</i> -Decano	1,917	1,458	0,578	0,863	0,921	2,396	1,205	1,219	22,515	51,596	32,071	0,435
<i>n</i> -Undecano	0,204	0,286	0,000	0,370	0,329	0,452	0,000	0,000	9,955	31,016	19,982	0,000
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	105,327	104,431	109,712	0,000
$\alpha$ -Terpineol	1,561	0,560	1,320	2,682	0,000	4,864	2,631	1,357	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	4,163	2,451	1,899	3,915	1,251	7,712	3,836	2,576	301,644	331,358	312,572	10,907
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,025	0,015	0,012	0,024	0,008	0,047	0,023	0,016	1,847	2,029	1,914	0,067
T/°C	21,49	21,19	21,36	20,78	21,29	21,82	23,00	22,92	22,00	21,60	21,84	22,31
HR/%	32,15	31,58	32,96	35,71	39,86	40,11	40,47	42,51	45,51	46,57	43,11	37,01
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	9,916	0,000	10,634	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	302,618	1700,717	0,000
<i>n</i> -Heptano	0,000	0,000	0,000	0,000	35,499	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	8,088	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,537	0,000	23,322	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	26,257	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,066	0,000	12,804	0,000	0,091	0,165	0,067	0,000	0,000	0,000	36,416	0,000
<i>n</i> -Decano	0,622	0,000	48,294	1,155	1,122	1,131	1,195	0,442	0,000	0,000	42,438	13,605
<i>n</i> -Undecano	0,103	0,000	48,621	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	11,429	0,851
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	11,277	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,452	0,000	0,000	0,310	0,262	0,415	0,000	0,000	0,000	0,000	3,717
ng/ TVOCs	11,243	0,452	163,040	1,155	37,021	1,558	1,676	0,442	0,000	302,618	1817,257	18,172
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,069	0,003	0,998	0,007	0,227	0,010	0,010	0,003	0,000	1,853	11,129	0,111
T/°C	22,00	21,57	21,61	21,67	21,60	21,55	21,46	21,26	21,26	21,56	20,60	20,52
HR/%	38,18	35,96	32,33	36,00	38,92	42,35	44,25	44,62	43,05	43,55	41,23	41,07
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	244,234	0,000	3,790	294,290	357,088	0,000	169,070	69,026	0,000	222,928	183,630	97,782
<i>n</i> -Heptano	3,401	0,000	0,000	392,696	0,000	0,000	2,540	3,517	212,589	0,000	13,149	0,000
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	0,000	9,301	1,142	9,313	1,739	0,000	0,506	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,676	0,000	25,441	0,000	0,214	0,000	0,000	0,000	0,644	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Decano	23,304	49,729	0,000	2,873	0,977	2,237	0,000	0,000	0,000	0,406	0,000	0,000
<i>n</i> -Undecano	4,091	9,065	257,752	1,730	0,000	0,214	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\beta$ -Terpineol	0,000	6,638	3,920	0,140	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	1,633	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	277,339	65,432	300,204	692,872	367,592	4,189	171,610	73,048	213,233	223,333	196,778	97,782
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	1,698	0,401	1,838	4,243	2,251	0,026	1,051	0,447	1,306	1,368	1,205	0,599
T/°C	19,95	20,85	21,36	20,85	20,81	21,53	24,41	23,40	22,00	22,00	20,75	19,90
HR/%	38,26	39,64	41,02	40,98	42,18	45,01	41,48	40,20	39,68	40,50	40,39	38,32
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano		303,020	362,377	60,889	191,530	422,242	513,600	129,664	254,918	174,466
Octametilciclotetrasiloxano		92,050	53,593	13,779	28,012	33,717	33,407	24,928	25,354	18,403
Decametilciclopentasiloxano		100,285	48,219	22,001	3,295	23,328	18,752	8,825	9,754	5,766
Dodecametilciclohexasiloxano		294,902	178,030	140,353	180,813	115,588	88,106	22,587	20,583	26,582
Ácido Undecanoico				0,000	0,000	0,172	0,001	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	0,000	790,257	642,220	237,022	403,649	595,048	653,866	186,004	310,609	225,218
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,000	4,839	3,933	1,451	2,472	3,644	4,004	1,139	1,902	1,379
T/°C	21,07	21,58	21,26	21,99	22,07	22,08	21,43	21,31	21,01	21,56
HR/%	37,00	37,95	38,59	41,18	42,70	42,88	48,26	50,74	46,19	37,69
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilclotrisiloxano	153,688	168,844	464,217	370,658	189,754	293,755	209,225	204,398	12,947	24,701	22,565	230,120
Octametilclotetrasiloxano	16,736	17,321	12,887	10,030	6,941	23,649	11,249	10,322	0,636	1,197	0,728	3,313
Decametilciclopentasiloxano	5,483	5,491	5,472	5,684	4,725	10,436	8,936	8,524	0,229	0,416	0,212	1,351
Dodecametilciclohexasiloxano	19,946	19,259	25,376	19,031	12,035	13,838	17,296	12,085	0,347	0,468	0,089	4,855
Ácido Undecanoico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	25,964	23,446	45,550	0,000
ng/TVOCs	195,854	210,914	507,953	405,403	213,456	341,677	246,705	235,329	40,124	50,228	69,144	239,639
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,199	1,292	3,111	2,483	1,307	2,092	1,511	1,441	0,246	0,308	0,423	1,468
T/°C	21,49	21,19	21,36	20,78	21,29	21,82	23,00	22,92	22,00	21,60	21,84	22,31
HR/%	32,15	31,58	32,96	35,71	39,86	40,11	40,47	42,51	45,51	46,57	43,11	37,01
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	3,406	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	217,437	226,143	0,051	102,819	75,532	61,690	86,210	46,511	36,859	45,816	50,135	710,499
Octametilciclotetrasiloxano	3,457	3,043	3,029	21,671	14,611	11,971	17,457	9,853	6,834	8,348	13,057	146,947
Decametilciclopentasiloxano	1,933	1,304	0,000	6,871	6,683	6,183	6,227	2,493	1,079	1,572	1,723	27,826
Dodecametilciclohexasiloxano	4,578	3,952	0,000	16,079	9,148	6,249	8,299	4,490	2,734	5,153	4,090	47,826
Ácido Undecanoico	0,349	0,000	34,787	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/ TVOCs	227,754	234,441	41,273	147,441	105,974	86,092	118,194	63,346	47,506	60,890	69,005	933,098
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,395	1,436	0,253	0,903	0,649	0,527	0,724	0,388	0,291	0,373	0,423	5,714
T/°C	22,00	21,57	21,61	21,67	21,60	21,55	21,46	21,26	21,26	21,56	20,60	20,52
HR/%	38,18	35,96	32,33	36,00	38,92	42,35	44,25	44,62	43,05	43,55	41,23	41,07
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Pasivo Nespamedu 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	50,702	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	1406,731	2669,782	2478,037	126,288	100,049	94,857	215,014	167,413	197,949	219,644	184,139	183,796
Octametilciclotetrasiloxano	335,932	721,995	56,567	33,848	15,516	16,385	9,401	12,826	8,187	13,017	10,109	11,518
Decametilciclopentasiloxano	45,454	321,851	591,169	38,263	11,383	8,522	3,947	3,238	8,531	15,407	3,300	5,914
Dodecametilciclohexasiloxano	59,441	150,659	250,186	45,897	21,172	22,579	18,799	13,185	30,368	28,631	22,719	33,709
Ácido Undecanoico	0,000	0,416	0,366	0,174	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	1847,558	3864,703	3376,325	295,172	148,120	142,342	247,161	196,661	245,035	276,699	220,267	234,938
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	11,314	23,667	20,676	1,808	0,907	0,872	1,514	1,204	1,501	1,694	1,349	1,439
T/°C	19,95	20,85	21,36	20,85	20,81	21,53	24,41	23,40	22,00	22,00	20,75	19,90
HR/%	38,26	39,64	41,02	40,98	42,18	45,01	41,48	40,20	39,68	40,50	40,39	38,32
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Momia femenina

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno					0,000	0,013	0,016	0,000	0,000	0,000
Tolueno					5,694	4,616	20,010	35,646	24,314	9,708
Etilbenceno					2,404	2,454	5,429	9,143	8,225	4,728
<i>o</i> -Xileno					3,977	1,272	1,796	3,047	5,757	1,957
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno					8,853	8,895	7,796	7,982	8,746	7,440
Cumeno					0,000	0,000	0,223	0,324	0,227	0,267
<i>n</i> -Propilbenceno					0,995	1,092	1,870	1,959	1,397	0,936
3-Etiltolueno					4,009	0,000	1,718	2,529	3,972	0,000
Mesitileno					4,227	4,308	4,357	4,696	4,275	3,476
1,2,4-Trimetilbenceno					19,006	16,900	19,136	20,913	16,488	13,560
1,2,3-Trimetilbenceno					16,926	8,388	6,594	3,462	2,965	3,307
Cimeno					0,000	0,074	0,229	0,000	0,869	0,000
<i>n</i> -Butilbenceno					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno					1,644	0,306	0,243	2,002	0,404	0,412
4-Etil- <i>o</i> -Xileno					1,501	1,786	1,403	1,812	1,703	1,822
ng/TVOCs	0,000	0,000	0,000	0,000	69,238	50,104	70,820	93,514	79,340	47,614
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,424	0,307	0,434	0,573	0,486	0,292
T/°C	21,14	21,53	21,37	22,04	22,34	22,35	21,66	21,28	20,88	21,38
HR/%	35,19	40,45	38,26	40,18	41,05	41,12	44,39	48,01	45,78	38,53
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2015											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	23,511
Tolueno	1,878	7,501	10,218	7,391	9,440	6,688	4,413	6,792	0,441	1,364	0,000	10,823
Etilbenceno	1,129	1,795	1,081	1,820	1,833	2,354	1,102	1,493	33,572	42,896	31,523	0,522
<i>o</i> -Xileno	0,923	1,403	1,905	1,419	1,756	1,867	1,133	1,373	3,221	3,607	7,658	0,570
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	3,281	2,931	5,727	2,305	6,387	2,841	8,813	5,316	4,681	7,929	3,328	2,414
Cumeno	0,000	0,000	0,102	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,377	1,147	0,981	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	0,477	0,551	0,280	0,264	0,319	0,317	0,428	0,313	14,147	11,710	31,043	0,245
3-Etiltolueno	7,450	8,524	4,136	4,683	5,286	3,561	4,609	1,891	2,208	3,261	2,279	1,168
Mesitileno	2,774	2,723	1,561	1,135	1,796	1,342	3,433	1,815	4,512	8,461	3,340	1,114
1,2,4-Trimetilbenceno	11,485	11,123	7,004	4,643	16,137	13,274	9,858	4,884	3,417	9,666	4,313	6,406
1,2,3-Trimetilbenceno	2,523	2,196	4,516	3,055	4,997	3,319	5,327	2,688	12,780	16,439	12,466	1,838
Cimeno	0,000	0,000	0,000	0,061	0,276	0,000	0,000	0,000	5,020	10,107	5,544	0,066
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,182	4,807	6,737	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,214	0,000	0,066	0,062	0,158	0,000	0,171	0,000	1,747	2,288	2,320	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,430	0,000	0,000	0,300	0,587	0,000	0,927	0,000	0,344	0,580	0,428	0,478
ng/TVOCs	32,564	38,747	36,600	27,138	48,972	35,563	40,216	26,565	88,649	124,259	111,959	49,153
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,199	0,237	0,224	0,166	0,300	0,218	0,246	0,163	0,543	0,761	0,686	0,301
T/°C	21,34	21,31	20,80	20,30	21,33	21,93	23,10	22,84	22,00	21,48	21,73	22,06
HR/%	31,35	28,92	31,15	35,05	38,87	38,46	38,53	41,03	44,15	45,52	43,93	36,43
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	23,060	0,000	0,000	0,587	0,000	5,180	0,000	0,000	0,000	0,000	47,105	0,000
Tolueno	10,949	9,677	28,955	34,838	16,230	16,201	32,284	23,430	8,774	39,501	25,923	13,645
Etilbenceno	0,551	1,079	4,067	6,575	1,576	2,950	4,334	1,201	1,864	0,903	0,368	1,256
<i>o</i> -Xileno	0,571	1,173	45,040	6,781	2,445	2,895	4,374	1,635	2,664	2,959	3,097	3,251
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	1,800	1,407	14,704	6,560	4,099	2,833	7,200	5,406	5,258	3,274	2,844	4,429
Cumeno	0,000	0,044	0,845	0,580	0,088	0,000	0,346	0,122	0,058	1,445	1,351	0,285
<i>n</i> -Propilbenceno	0,239	0,253	3,370	1,875	0,249	0,461	1,885	0,622	0,294	0,227	0,462	0,327
3-Etiltolueno	0,608	0,977	12,800	3,791	0,854	0,931	4,130	8,012	3,443	0,998	1,410	5,209
Mesitileno	0,941	0,477	14,022	4,504	2,382	1,731	4,443	3,369	2,185	2,102	1,780	3,101
1,2,4-Trimetilbenceno	5,345	4,245	61,747	21,299	9,746	8,024	21,699	14,294	9,556	3,680	4,665	13,850
1,2,3-Trimetilbenceno	1,567	1,132	21,015	5,669	3,264	2,747	7,400	5,588	3,442	1,490	0,612	6,464
Cimeno	0,080	0,232	1,238	2,151	0,377	1,208	0,885	0,000	0,000	0,000	0,000	0,158
<i>n</i> -Butilbenceno	0,000	0,000	0,103	0,002	0,036	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,065	0,766	0,289	0,094	0,126	0,233	0,134	0,115	0,000	0,000	0,314
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,436	0,298	2,366	0,725	0,205	0,205	0,000	0,483	0,282	0,000	0,000	1,332
ng/ TVOCs	46,145	21,059	211,038	96,226	41,646	45,493	89,214	64,304	37,935	56,579	89,615	53,620
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,283	0,129	1,292	0,589	0,255	0,279	0,546	0,394	0,232	0,346	0,549	0,328
T/°C	21,60	21,52	21,47	21,63	21,71	21,44	21,99	21,61	21,52	21,53	20,40	20,33
HR/%	36,75	35,22	31,99	35,83	38,54	42,84	44,74	44,30	43,74	43,83	42,64	43,19
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2017											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Benceno	0,000	13,207	42,388	0,000	0,010	0,000	4,348	6,444	0,000	0,000	40,382	0,000
Tolueno	9,640	36,888	13,323	9,938	12,425	18,047	5,263	4,574	72,367	58,974	28,723	12,270
Etilbenceno	20,790	4,106	1,741	1,388	2,049	1,284	0,000	0,000	14,453	15,703	13,067	27,125
<i>o</i> -Xileno	3,571	5,745	2,143	1,894	2,973	3,298	0,000	0,000	16,959	15,930	14,920	34,072
<i>m</i> - y <i>p</i> -Xileno	1,761	0,000	11,334	2,703	2,668	2,004	0,000	0,000	12,226	12,633	7,138	14,703
Cumeno	0,567	0,000	0,257	0,202	0,129	0,129	0,000	0,000	0,000	0,761	0,608	0,000
<i>n</i> -Propilbenceno	0,357	0,696	0,430	0,266	0,316	0,058	0,000	0,000	0,493	1,090	0,812	0,830
3-Etiltolueno	1,684	5,498	2,131	1,700	2,191	0,306	0,000	0,000	1,974	5,660	4,494	3,496
Mesitileno	1,262	1,478	1,841	1,014	0,681	0,287	0,000	0,000	0,380	1,710	1,489	0,910
1,2,4-Trimetilbenceno	5,840	6,823	8,451	4,237	3,031	0,769	0,000	0,000	2,457	6,501	5,435	6,474
1,2,3-Trimetilbenceno	2,269	2,385	3,143	1,483	0,334	0,167	0,000	0,000	0,000	0,556	0,000	0,000
Cimeno	1,956	0,727	0,158	0,214	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,130	0,000	0,407
<i>n</i> -Butilbenceno	1,500	0,791	0,460	0,377	0,122	0,000	0,000	0,000	0,000	0,823	0,000	0,000
4-Etil- <i>m</i> -Xileno	0,000	0,000	0,977	0,656	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Etil- <i>o</i> -Xileno	0,000	0,711	0,844	0,499	0,164	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	51,197	79,053	89,623	26,572	27,155	26,349	9,611	11,017	121,309	120,473	117,066	100,288
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,314	0,484	0,549	0,163	0,166	0,161	0,059	0,067	0,743	0,738	0,717	0,614
T/°C	19,77	20,73	21,25	20,96	21,17	21,89	23,98	23,93	22,87	22,11	20,62	19,65
HR/%	37,12	41,14	44,53	42,33	44,46	45,76	42,87	39,86	40,98	40,30	42,32	39,62
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal					29,213	8,805	24,943	50,991	24,928	8,372
Tetracloroetileno					0,000	1,326	2,708	1,815	0,389	0,000
1-Metoxi-2-propilacetato					22,967	21,257	36,523	26,563	43,455	12,236
$\alpha$ -Pino					1,316	2,551	6,723	8,519	6,445	1,229
Benzaldehído					0,767	3,817	4,809	6,940	11,996	10,312
Limoneno					0,356	1,185	2,073	7,889	8,828	1,924
Acetofenona					0,988	10,734	13,010	4,822	1,848	1,730
2-Butoxietilacetato					34,267	0,388	1,005	0,949	0,799	0,000
Nonanal					3,304	6,646	5,704	7,798	3,186	3,980
Alcanfor					0,000	0,000	0,035	0,028	0,000	0,000
Decanal					0,541	1,350	0,608	1,096	0,566	0,000
Isobornilacetato					0,000	0,487	0,016	0,000	0,000	0,000
2-Fenilbutiramida					0,000	109,548	58,326	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato					0,000	1,070	1,308	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	0,000	0,000	0,000	0,000	93,718	169,163	157,791	117,410	102,441	39,783
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,574	1,036	0,966	0,719	0,627	0,244
T/°C	21,14	21,53	21,37	22,04	22,34	22,35	21,66	21,28	20,88	21,38
HR/%	35,19	40,45	38,26	40,18	41,05	41,12	44,39	48,01	45,78	38,53
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	2,347	4,643	13,159	13,949	14,683	18,649	19,762	40,210	71,362	103,296	38,220	5,025
Tetracloroetileno	0,000	0,352	0,000	2,030	1,214	1,678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,344
1-Metoxi-2-propilacetato	10,830	7,888	13,712	9,321	11,657	10,690	15,944	8,446	36,349	41,508	99,115	1,825
$\alpha$ -Pino	1,234	12,506	1,449	1,307	2,984	2,924	1,554	6,262	0,862	0,897	0,702	0,468
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,154	9,376	3,750	0,276
Limoneno	1,517	3,513	20,049	19,439	2,817	1,207	0,441	0,754	1,149	1,516	1,800	0,626
Acetofenona	0,000	0,000	0,000	5,205	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,552
2-Butoxietilacetato	25,530	17,370	9,902	7,745	7,488	1,596	7,062	0,000	2,632	4,566	3,757	0,000
Nonanal	2,402	2,107	2,304	2,138	3,672	1,466	1,307	0,000	2,115	2,437	2,453	0,322
Alcanfor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,188	0,159	0,065	0,006
Decanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,523	0,045	0,000	0,000	0,902	1,284	1,336	0,040
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,198	0,000	0,000	0,927	1,282	0,907	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,059	0,000	0,000	0,035
Diisobutilftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
ng/TVOCs	43,859	48,379	60,574	61,134	45,036	38,466	46,070	55,671	119,698	166,320	152,105	9,519
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,269	0,296	0,371	0,374	0,276	0,236	0,282	0,341	0,733	1,019	0,931	0,058
T/°C	21,34	21,31	20,80	20,30	21,33	21,93	23,10	22,84	22,00	21,48	21,73	22,06
HR/%	31,35	28,92	31,15	35,05	38,87	38,46	38,53	41,03	44,15	45,52	43,93	36,43
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	2,817	7,025	13,148	1,172	2,663	4,881	5,910	0,872	0,000	0,000	0,000
Tetracloroetileno	0,390	0,979	0,033	0,062	0,111	0,103	0,197	0,000	0,078	0,000	0,000	0,000
1-Metoxi-2-propilacetato	2,379	1,788	29,534	9,315	5,103	5,826	8,264	8,165	3,775	4,092	2,084	11,630
$\alpha$ -Pino	0,297	2,396	7,476	41,702	2,506	5,800	1,868	0,569	0,088	0,510	0,000	0,280
Benzaldehído	0,166	0,227	3,281	4,572	0,597	1,728	2,356	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Limoneno	1,220	4,614	13,690	24,821	3,647	10,859	5,386	0,605	0,359	0,000	0,196	2,447
Acetofenona	0,558	0,286	3,846	2,542	0,481	0,888	1,854	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	0,000	57,823	12,030	3,579	1,751	11,101	5,560	1,065	0,000	0,000	6,814
Nonanal	0,310	1,054	4,469	6,591	1,600	4,209	7,906	0,583	0,131	0,000	0,000	0,641
Alcanfor	0,000	0,003	0,019	0,032	0,003	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decanal	0,152	0,472	1,101	3,798	0,668	2,790	3,663	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,000	0,000	0,132	0,000	0,046	0,238	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/ TVOCs	5,473	14,635	128,296	118,745	19,468	36,677	47,714	21,392	6,369	4,601	2,280	21,812
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,034	0,090	0,786	0,727	0,119	0,225	0,292	0,131	0,039	0,028	0,014	0,134
T/°C	21,60	21,52	21,47	21,63	21,71	21,44	21,99	21,61	21,52	21,53	20,40	20,33
HR/%	36,75	35,22	31,99	35,83	38,54	42,84	44,74	44,30	43,74	43,83	42,64	43,19
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hexanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	56,598	99,254	43,111	17,774
Tetracloroetileno	1,758	0,000	1,331	0,617	1,996	1,329	0,000	0,000	1,395	1,912	1,579	0,479
1-Metoxi-2-propilacetato	13,505	4,236	6,721	1,882	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,898	2,307	0,000
$\alpha$ -Pino	4,067	2,033	1,401	1,175	0,642	0,308	0,312	0,425	5,015	6,118	2,905	1,497
Benzaldehído	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Limoneno	1,002	6,639	2,784	2,460	1,540	0,167	0,000	0,000	6,819	14,269	8,413	6,112
Acetofenona	0,731	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Butoxietilacetato	0,000	1,971	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	0,000	1,734	0,806	3,875	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Alcanfor	0,000	0,015	0,086	0,025	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000	0,022
Decanal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,205	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Isobornilacetato	0,000	0,124	0,264	0,578	0,239	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,214
2-Fenilbutiramida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diisobutilftalato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	21,063	16,752	13,394	10,612	4,638	1,803	0,312	0,425	69,828	132,481	58,315	27,099
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,129	0,103	0,082	0,065	0,028	0,011	0,002	0,003	0,428	0,811	0,357	0,166
T/°C	19,77	20,73	21,25	20,96	21,17	21,89	23,98	23,93	22,87	22,11	20,62	19,65
HR/%	37,12	41,14	44,53	42,33	44,46	45,76	42,87	39,86	40,98	40,30	42,32	39,62
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano						1,622	0,036	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Heptano					0,000	8,980	0,100	0,000	0,000	0,000
1,2-Propanodiol						0,000	0,043	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano					1,918	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano					0,000	0,000	0,681	0,229	0,408	0,000
<i>n</i> -Decano					1,434	2,132	4,976	4,251	2,692	0,856
<i>n</i> -Undecano					0,000	33,616	23,804	29,495	17,613	31,414
$\beta$ -Terpineol					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,141
$\alpha$ -Terpineol					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	0,000	0,000	0,000	0,000	3,352	46,351	29,639	33,975	20,713	33,411
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,284	0,182	0,208	0,127	0,205
T/°C	21,14	21,53	21,37	22,04	22,34	22,35	21,66	21,28	20,88	21,38
HR/%	35,19	40,45	38,26	40,18	41,05	41,12	44,39	48,01	45,78	38,53
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	13,109	12,858	16,750	1,230
<i>n</i> -Heptano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	12,979	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,045
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	17,048	53,133	42,919	0,061
<i>n</i> -Octano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	185,895	107,925	485,515	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,000	0,165	0,127	0,000	0,000	0,235	0,000	0,000	15,669	19,653	21,719	0,291
<i>n</i> -Decano	0,976	1,886	0,850	1,024	1,392	1,790	8,779	1,541	33,783	81,849	36,198	0,364
<i>n</i> -Undecano	0,000	0,323	0,000	0,479	0,477	0,362	0,000	0,000	10,873	21,860	13,337	0,000
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	148,666	277,157	280,323	0,000
$\alpha$ -Terpineol	1,942	1,623	1,775	0,000	1,412	0,000	1,546	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	2,918	3,997	2,752	1,503	3,281	15,366	10,325	1,541	425,043	574,435	896,761	3,990
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,018	0,024	0,017	0,009	0,020	0,094	0,063	0,009	2,603	3,518	5,492	0,024
T/°C	21,34	21,31	20,80	20,30	21,33	21,93	23,10	22,84	22,00	21,48	21,73	22,06
HR/%	31,35	28,92	31,15	35,05	38,87	38,46	38,53	41,03	44,15	45,52	43,93	36,43
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628



Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	5,963	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	615,524	714,169	0,000
<i>n</i> -Heptano	1,434	0,000	0,000	0,245	0,000	0,000	3,884	0,000	0,000	0,000	1,463	0,000
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,991	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,981	4,553	0,000
<i>n</i> -Nonano	0,165	0,230	0,000	0,964	0,103	0,319	0,221	0,000	0,000	1,182	12,116	0,000
<i>n</i> -Decano	0,406	0,552	2,127	2,351	0,456	1,748	2,042	0,338	0,234	4,465	4,932	2,241
<i>n</i> -Undecano	0,086	0,000	0,000	0,000	0,000	0,501	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,397	2,141	0,065	0,120	0,172	0,423	0,234	0,062	0,000	0,000	1,115
ng/ TVOCs	9,044	1,179	4,268	3,625	0,678	2,741	6,570	0,572	0,296	626,153	737,233	3,357
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	0,055	0,007	0,026	0,022	0,004	0,017	0,040	0,004	0,002	3,834	4,515	0,021
T/°C	21,60	21,52	21,47	21,63	21,71	21,44	21,99	21,61	21,52	21,53	20,40	20,33
HR/%	36,75	35,22	31,99	35,83	38,54	42,84	44,74	44,30	43,74	43,83	42,64	43,19
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	260,738	13,074	51,733	26,641	14,477	5,533	2,806	0,595	6,458	56,038	8,897	2,592
<i>n</i> -Heptano	0,000	0,000	0,920	2,473	11,077	4,327	1,174	2,066	18,771	19,403	17,078	0,000
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	0,000	33,249	1,811	7,161	3,873	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	6,738	0,000	0,484	0,399	0,332	0,231	0,000	0,000	0,138	0,705	0,246	0,000
<i>n</i> -Decano	9,503	2,571	1,008	1,349	0,976	0,337	0,000	0,000	1,405	2,012	0,711	0,000
<i>n</i> -Undecano	0,000	2,255	3,232	2,677	0,097	0,000	0,000	0,000	0,000	3,083	0,000	0,000
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,271	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	276,979	17,899	90,898	35,352	34,120	14,301	3,981	2,661	26,772	81,242	26,931	2,592
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	1,696	0,110	0,557	0,216	0,209	0,088	0,024	0,016	0,164	0,498	0,165	0,016
T/°C	19,77	20,73	21,25	20,96	21,17	21,89	23,98	23,93	22,87	22,11	20,62	19,65
HR/%	37,12	41,14	44,53	42,33	44,46	45,76	42,87	39,86	40,98	40,30	42,32	39,62
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano					124,394	267,471	211,546	201,064	188,023	164,157
Octametilciclotetrasiloxano					16,245	21,103	17,220	27,668	23,012	17,448
Decametilciclopentasiloxano					13,740	18,336	20,981	16,814	15,081	4,498
Dodecametilciclohexasiloxano					58,488	51,252	26,782	10,561	8,942	10,222
Ácido Undecanoico					0,000	0,077	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	0,000	0,000	0,000	0,000	212,867	358,240	276,529	256,108	235,058	196,324
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,000	0,000	0,000	0,000	1,304	2,194	1,693	1,568	1,439	1,202
T/°C	21,14	21,53	21,37	22,04	22,34	22,35	21,66	21,28	20,88	21,38
HR/%	35,19	40,45	38,26	40,18	41,05	41,12	44,39	48,01	45,78	38,53
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2015											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,095	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	143,635	125,582	417,736	258,146	129,110	96,843	109,397	84,331	39,522	24,880	38,639	188,395
Octametilciclotetrasiloxano	15,270	14,257	11,541	8,011	5,584	5,192	5,948	3,842	1,546	2,050	1,450	2,504
Decametildiclopentasiloxano	3,227	5,482	5,694	6,208	5,603	2,857	5,246	6,899	0,255	0,406	0,228	1,339
Dodecametilciclohexasiloxano	9,860	8,065	12,653	7,491	5,374	2,920	5,975	3,116	0,139	0,162	0,275	1,919
Ácido Undecanoico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	15,763	23,039	18,553	0,000
ng/TVOCs	171,992	153,386	447,625	279,856	145,672	107,812	126,565	98,188	57,225	50,537	63,241	194,158
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,053	0,939	2,741	1,714	0,892	0,660	0,775	0,601	0,350	0,309	0,387	1,189
T/°C	21,34	21,31	20,80	20,30	21,33	21,93	23,10	22,84	22,00	21,48	21,73	22,06
HR/%	31,35	28,92	31,15	35,05	38,87	38,46	38,53	41,03	44,15	45,52	43,93	36,43
Visitantes	62722	53504	66254	67894	52397	32888	27477	34671	27960	48733	41916	39628

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,2,4-Trimetilpentano	260,738	13,074	51,733	26,641	14,477	5,533	2,806	0,595	6,458	56,038	8,897	2,592
<i>n</i> -Heptano	0,000	0,000	0,920	2,473	11,077	4,327	1,174	2,066	18,771	19,403	17,078	0,000
1,2-Propanodiol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Octano	0,000	0,000	33,249	1,811	7,161	3,873	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>n</i> -Nonano	6,738	0,000	0,484	0,399	0,332	0,231	0,000	0,000	0,138	0,705	0,246	0,000
<i>n</i> -Decano	9,503	2,571	1,008	1,349	0,976	0,337	0,000	0,000	1,405	2,012	0,711	0,000
<i>n</i> -Undecano	0,000	2,255	3,232	2,677	0,097	0,000	0,000	0,000	0,000	3,083	0,000	0,000
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,271	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	276,979	17,899	90,898	35,352	34,120	14,301	3,981	2,661	26,772	81,242	26,931	2,592
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOCs)	1,696	0,110	0,557	0,216	0,209	0,088	0,024	0,016	0,164	0,498	0,165	0,016
T/°C	19,77	20,73	21,25	20,96	21,17	21,89	23,98	23,93	22,87	22,11	20,62	19,65
HR/%	37,12	41,14	44,53	42,33	44,46	45,76	42,87	39,86	40,98	40,30	42,32	39,62
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2014									
Compuesto	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano					124,394	267,471	211,546	201,064	188,023	164,157
Octametilciclotetrasiloxano					16,245	21,103	17,220	27,668	23,012	17,448
Decametilciclopentasiloxano					13,740	18,336	20,981	16,814	15,081	4,498
Dodecametilciclohexasiloxano					58,488	51,252	26,782	10,561	8,942	10,222
Ácido Undecanoico					0,000	0,077	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/TVOCs	0,000	0,000	0,000	0,000	212,867	358,240	276,529	256,108	235,058	196,324
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,000	0,000	0,000	0,000	1,304	2,194	1,693	1,568	1,439	1,202
T/°C	21,14	21,53	21,37	22,04	22,34	22,35	21,66	21,28	20,88	21,38
HR/%	35,19	40,45	38,26	40,18	41,05	41,12	44,39	48,01	45,78	38,53
Visitantes	0	55898	71306	73624	80258	92677	64509	81998	92610	72829

Anexo III: Datos de las muestras tomadas desglosados por los distintos puntos de muestreo

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2016											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilciclotrisiloxano	229,295	159,925	116,177	55,728	30,025	18,793	53,603	39,577	32,726	62,337	50,077	96,448
Octametilciclotetrasiloxano	1,628	2,116	25,553	12,253	5,698	3,580	10,450	8,584	6,651	13,417	11,802	26,583
Decametilciclopentasiloxano	1,557	3,921	13,791	14,870	3,168	6,575	7,974	3,047	1,856	1,456	2,939	9,357
Dodecametilciclohexasiloxano	1,908	1,550	15,589	5,131	2,334	1,895	4,176	3,239	2,293	5,630	3,558	11,742
Ácido Undecanoico	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ng/ TVOCs	234,418	167,512	171,110	87,982	41,225	30,843	76,202	54,447	43,526	82,840	68,375	144,130
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	1,436	1,026	1,048	0,539	0,252	0,189	0,467	0,333	0,267	0,507	0,419	0,883
T/°C	21,60	21,52	21,47	21,63	21,71	21,44	21,99	21,61	21,52	21,53	20,40	20,33
HR/%	36,75	35,22	31,99	35,83	38,54	42,84	44,74	44,30	43,74	43,83	42,64	43,19
Visitantes	39953	47577	49914	45428	45918	26282	37107	39756	33885	49682	45334	46417

Pasivo Momia Femenina 7días	Año 2017											
Compuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2-Butanona-oxima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hexametilclotrisiloxano	21,915	40,047	55,146	43,344	33,046	21,522	42,459	29,382	84,130	120,883	73,747	101,447
Octametilclotetrasiloxano	15,047	10,355	16,781	10,305	6,582	5,103	3,307	4,243	6,391	9,869	4,980	12,405
Decametilciclopentasiloxano	6,931	22,727	10,711	8,174	6,628	1,865	1,798	1,209	9,739	24,561	12,020	27,581
Dodecametilciclohexasiloxano	5,063	5,355	6,781	4,472	2,642	2,030	1,637	1,531	6,206	9,705	8,308	12,516
Ácido Undecanoico	0,000	2,608	0,110	0,202	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,245	0,000
ng/TVOCs	48,956	81,092	89,528	66,497	48,898	30,521	49,200	36,366	106,466	165,018	101,300	153,949
µg/m <sup>3</sup> (TVOCs)	0,300	0,497	0,548	0,407	0,299	0,187	0,301	0,223	0,652	1,011	0,620	0,943
T/°C	19,77	20,73	21,25	20,96	21,17	21,89	23,98	23,93	22,87	22,11	20,62	19,65
HR/%	37,12	41,14	44,53	42,33	44,46	45,76	42,87	39,86	40,98	40,30	42,32	39,62
Visitantes	47200	59880	60635	44978	38766	27788	30996	34638	29133	54468	57082	57306





